

**Bodenmikrobiologische Untersuchungen an
12 Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF)
in Schleswig-Holstein im Jahr 2019
(Wald- und vorwiegend extensive
Grünland- und Sonderstandorte)**

Auftragnehmer:

Universität Hamburg
Institut für Bodenkunde
Allende Platz 2
20146 Hamburg

Bearbeiter:

Dr. Peter Woloszczyk
Dr. Claudia Fiencke
Birgit Grabellus
Prof. Dr. Eva-Maria Pfeiffer
Dr. Dirk-Christian Elsner

im Auftrag des
Landesamtes für Landwirtschaft,
Umwelt und ländliche Räume
des Landes Schleswig-Holstein

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Bodenmikrobiologische Untersuchungen als Indikatorverfahren.....	6
2.1	Untersuchungsmethodik.....	6
2.2	Bedeutung der bodenmikrobiologischen Parameter	11
2.3	Probenahme	13
2.4	Datenauswertung.....	15
3	Standortverhältnisse.....	16
3.1	Allgemeiner Überblick.....	16
3.2	BDF01 List/Sylt.....	23
3.3	BDF21 Speicherkoog/Dithmarschen	29
3.4	BDF25 Kudensee/Landscheide	35
3.5	BDF33 Hellbachtal	42
3.6	BDF37 Hamburger Hallig	49
3.7	BDF02 Süderlügum.....	56
3.8	BDF07 Pobüller Bauernholz.....	62
3.9	BDF20 Wüstenfelde.....	69
3.10	BDF32 Hahnheide	75
3.11	BDF39 Hevenbruch	81
3.12	BDF24 Bornhöved	87
3.13	BDF31 Pinneberg	94
4	Ergebnisse und Diskussion	103
4.1	BDF01 List/Sylt.....	104
4.2	BDF21 Speicherkoog/Dithmarschen	116
4.3	BDF25 Kudensee/Landscheide	130
4.4	BDF33 Hellbachtal	141
4.5	BDF37 Hamburger Hallig	152
4.6	BDF02 Süderlügum.....	163
4.7	BDF07 Pobüller Bauernholz.....	177
4.8	BDF20 Wüstenfelde.....	191
4.9	BDF32 Hahnheide.....	204
4.10	BDF39 Hevenbruch	218

4.11	BDF24 Bornhöved	231
4.12	BDF31 Pinneberg	242
4.13	Gruppierungen von BDF und vergleichende Diskussion	252
5	Methodenanwendung und -kritik.....	278
5.1	Eignung der Methoden.....	278
5.2	Eignung der Indikatoren und Zeigerwerte	280
6	Zusammenfassung	282
7	Anhang	288
7.1	Verzeichnis der Tabellen	288
7.2	Verzeichnis der Abbildungen.....	291
7.3	Literaturverzeichnis	296
7.4	Glossar	299
7.5	Verzeichnis der Abkürzungen.....	300
7.6	Legende zu Kartenausschnitten der Bodenkarte 1 : 25.000	301
7.7	Klassifikationstabellen	302
7.8	Datentabellen	307

1 Einleitung

Der geologische Dienst des Landesamtes für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein (LLUR-SH) betreibt als obere Bodenschutzbehörde (Fachbehörde) seit 1989 Bodendauerbeobachtungsflächen (BDF), von denen 37 in Betrieb sind. Zentrale Ziele der Bodendauerbeobachtung bzw. des Monitorings sind die Beschreibung des aktuellen Zustandes der Böden, die langfristige Überwachung der Veränderungen der Böden und die Ableitung von Prognosen der zukünftigen Entwicklung. Das Untersuchungsprogramm wird nach den Empfehlungen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO, BARTH ET AL. 2000) durchgeführt und umfasst neben Bodenphysik und -chemie auch die Bodenbiologie. Die bodenbiologischen Untersuchungen gliedern sich in bodenmikrobiologische, -zoologische und vegetationskundliche Untersuchungen.

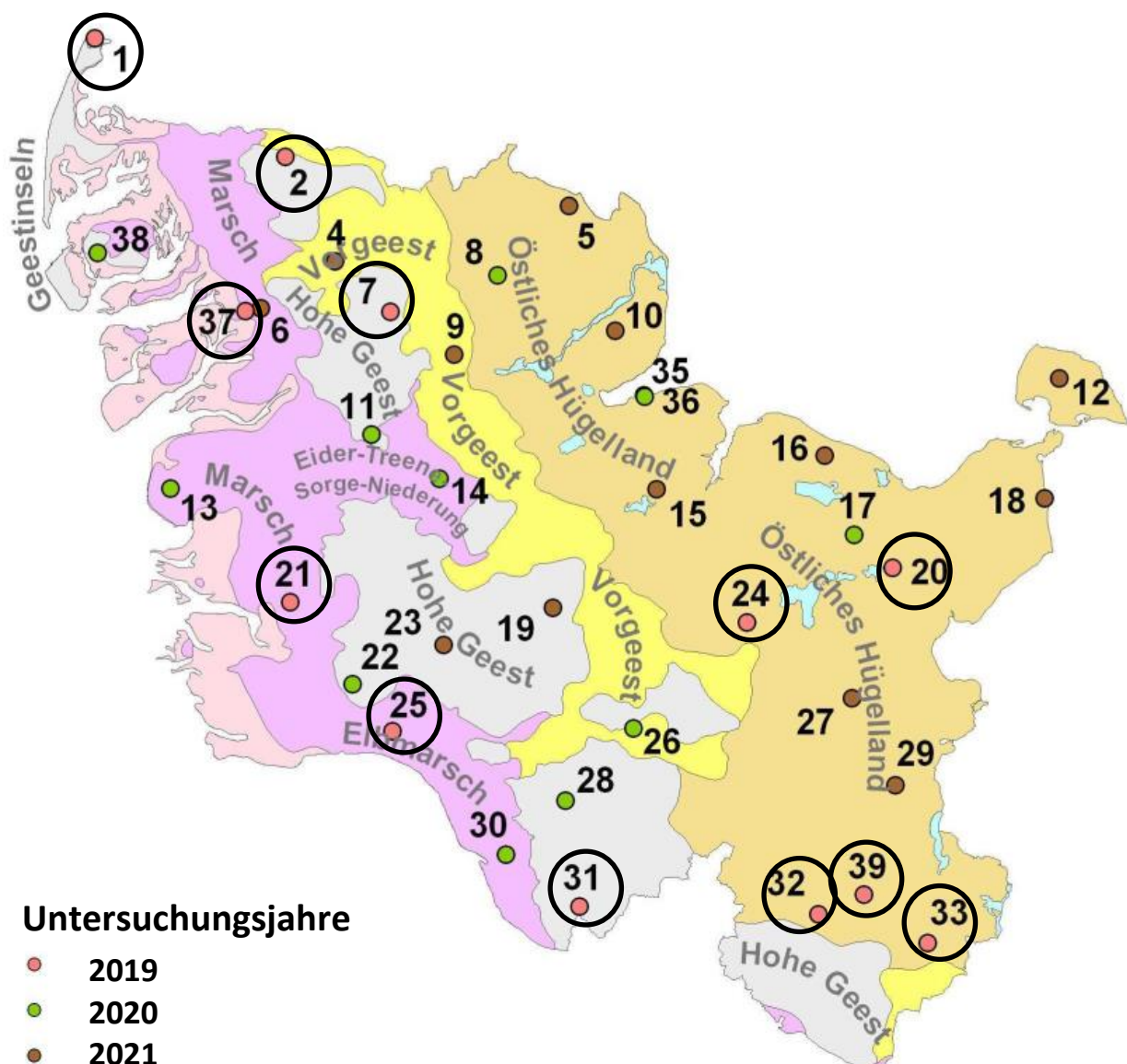


Abbildung 1.1: Lage der schleswig-holsteinischen Bodendauerbeobachtungsflächen. Die im Rahmen der Untersuchungen 2019 beprobten Bodendauerbeobachtungsflächen sind eingekreist (Quelle: LLUR).

Die im vorliegenden Bericht dargestellten Untersuchungen umfassen bodenmikrobiologische Parameter und abiotische Standortfaktoren. Das Untersuchungsintervall für die dargestellten Parameter beträgt 3 Jahre. Für die etwas langsamer reagierenden bodenzoologischen und vegetationskundlichen Parameter wird ein Untersuchungsintervall von 6 Jahren angesetzt. Dieser Zeitraum wurde festgesetzt um die Ergebnisse mit den Untersuchungen der Bodenmikrobiologie gemeinsam auswerten zu können. Ein Untersuchungsintervall beginnt mit vegetationskundlichen Untersuchungen, die den Frühjahrs- und den Sommeraspekt erfassen. Herbstaufnahmen unterbleiben, da sie oft unvollständig sind. Im Herbst werden auf den BDF Bodentiere gefangen. Dies geschieht meist im Oktober oder November, da in diese Zeit eine Hauptaktivitätsphase der Bodenfauna fällt. Im zeitigen Frühjahr darauf erfolgt die Probenentnahme für bodenmikrobiologische Untersuchungen. Letztere erfolgt in einem Zeitfenster, das einerseits vom Ende des Frostes und andererseits von einer nennenswert gestiegenen Aktivität aufgrund der Erwärmung des Bodens begrenzt wird, meist von Mitte März bis Ende März. Im Jahr 2019 fand die Probenahme zwischen dem 25. Februar und dem 8. April statt. Für die verschiedenen biologischen Untersuchungen werden jeweils andere Stellen an bzw. auf den BDF aufgesucht, so dass sie sich nicht gegenseitig beeinflussen.

Die Ergebnisse der bodenbiologischen Untersuchungen können aufgrund der gewählten Intervalle gut miteinander verknüpft und bewertet werden, weil die bodenzoologischen Untersuchungen den bodenmikrobiologischen zumindest an sechs der zwölf Standorten im Herbst vorausgehen. Der um vier bis fünf Monate größere zeitliche Abstand zu den bodenmikrobiologischen Untersuchungen fällt in den Winter, d. h. in den Zeitraum eingeschränkter biologischer Aktivität und ist daher in der Regel als unproblematisch anzusehen, wie ein Vergleich von Herbst- und Frühjahrbeprobungen ergeben hat (TIGGES, 2017).

Im Jahr 2019 wurden 12 BDF unter Wald (BDF02, 07, 20, 32, 39), Grünland bzw. Sukzession (BDF01, 21, 25, 33, 37) und unter Ackernutzung (BDF24, 31) bodenmikrobiologisch untersucht (Abbildung 1.1). Die Untersuchungsergebnisse werden nach den eingangs genannten zentralen Zielen der Boden-Dauerbeobachtung bewertet. Hierbei werden die Beziehungen der Bodenmikrobiologie zu folgenden Faktoren besonders betrachtet:

- Bodenform und abiotischen Standortfaktoren
- Wetter bzw. Klima
- Bewirtschaftung
- Vegetationskunde
- Bodenzoologie

Die Ergebnisse der aktuellen Untersuchung 2019 werden mit den Ergebnissen aus vorherigen Untersuchungen der Bodendauerbeobachtungsflächen (Tabelle 1.1) als Zeitreihen dargestellt und in Beziehung gesetzt.

Tabelle 1.1: Übersicht der bisherigen Untersuchungen an den BDF in Schleswig-Holstein. * Seit dem Untersuchungsjahr 2010 wurde die Probenahme der Mikrobiologie mit den anderen biologischen Disziplinen zeitlich aufeinander abgestimmt.

Jahr und Anzahl der un- tersuchten Flächen	Bearbeiter	Institut
1995 (16)	Herr Dr. Beyer	Institut für Pflanzenernährung und Bo- denkunde, Uni Kiel
1996 (17)		
1998 (16)		
1999 (23, Gesamtgutach- ten)	Frau Dr. Bode	privat, Kiel
2001 (17)	Herr Dr. Beyer	Institut für Pflanzenernährung und Bo- denkunde, Uni Kiel
2002 (19)		
2004 (23, Gesamtgutach- ten 1995-2002)	Herr Dr. Quirin & Herr Dr. Emmerling	Universität Trier, Abteilung Bodenkunde
2005 (18)	Herr Dr. Beyer	Institut für Bodenkunde und Pflanzener- nährung, Uni Halle
2006 (12)	Frau Dr. Tischer	
2007 (13)	Herr Prof. Dr. Emmerling	Universität Trier, Abteilung Bodenkunde
2010* (19)	Herr Dr. Dilly	Institut für Bodenkunde, Uni Hamburg
2011 (20)		
2013 (12)	Frau Dr. Fiencke et al.	
2014 (12)		
2015 (13)		
2016 (12)		
2017 (12)		
2018 (13)		
2019 (12)		

2 Bodenmikrobiologische Untersuchungen als Indikatorverfahren

2.1 Untersuchungsmethodik

In Schleswig-Holstein werden die von der LABO empfohlenen Verfahren zur Untersuchung der biologischen und chemischen Parameter von Bodendauerbeobachtungsflächen angewendet. In der Tabelle 2.1 sind Parameter, Methoden, Probenentnahmestelle, Umweltrelevanz und das Untersuchungsintervall dargestellt.

Tabelle 2.1 Von der LABO empfohlene und bei der Bodendauerbeobachtung in Schleswig-Holstein eingesetzte Verfahren zur Untersuchung der Bodenbiologie; ¹HEINEMEYER et al. 1989. Quelle: LLUR.

		Parameter	Methode	Probenentnahme	Umweltrelevanz	Intervall
Bodenmikrobiologische Untersuchungen	obligatorische Parameter	mikrobielle Biomasse	Substrat-induzierte Respiration (n. ANDERSON & DOMSCH 1978 ¹), DIN ISO 14240-1	Randfläche	Bodenfruchtbarkeit, Stoffumsetzung	3 Jahre auf allen BDF
		mikrobielle Biomasse	Fumigations-Extraktions-Methode (n. VANCE et al. 1987), DIN ISO 14240-2			
		mikrobielle Basalatmung	Durchflussverfahren (DOMSCH 1962), DIN 19737			
		metabolischer Quotient	Berechnung aus mikrobieller Basalatmung und Biomasse (n. ANDERSON & DOMSCH 1990)			
	ergänzende Parameter	Arginin- ammonifikation	ALEF & KLEINER (1986)	Randfläche	Bodenfruchtbarkeit, Stoffumsetzung	
Bodenzoologische Untersuchungen	obligatorische Parameter	Lumbriciden	Handauslese in Anlehnung an DIN ISO 23611-1:2007		Bodenfruchtbarkeit, Stoffumsetzung, Stoffeintrag	6 Jahre auf allen BDF
		Lumbriciden	Formalin-Austreibung in Anlehnung an DIN ISO 23611-1:2007			
		Kleinanneliden	Nassextraktion nach GRAEFE (1991) bzw. GRAEFE in DUNGER & FIEDLER (1998), s.a. DIN ISO 23611-3:2007			

Fortsetzung Tabelle 2.1

		Parameter	Methode	Proben ent- nahme	Umwelt relevanz	Intervall
Vegetationskundliche Untersuchungen	obligatorische Parameter	Biotop- ausstat- tung		Umland		6 Jahre auf nicht oder extensiv genutzten BDF
		Artenliste Ge- fäßpflanzen	anerkannte Listen			
		Gesamtarten liste Gefäßpflanzen	anerkannte Listen	BDF		
		Artenliste Moose	anerkannte Listen			
		Vegetationstyp- Ausstattung	Dokumentation der Ausstattung an Vegetationstypen			
		Vegetations- aufnahme	nach LONDO (1975)	BDF		
	ergänzende Parameter	Vitalität	nach DIERSCHKE (1989)			
		Phänologie	nach DIERSCHKE (1989)			

Die bodenchemischen Laboruntersuchungen der in diesem Bericht dargestellten BDF wurden von Mai bis September 2019 am Institut für Bodenkunde der Universität Hamburg durchgeführt. Zu den untersuchten bodenchemischen Parametern gehörten der pH-Wert in CaCl_2 -Lösung, der Wassergehalt der Probe, die Gehalte an gelösten, anorganischen Stickstoffverbindungen und der Gesamtkohlenstoff und -stickstoffgehalt im Boden (siehe Tabelle 2.2). Die Trockenrohddichte wurde vom LLUR an ungestörten Stechzylinderproben bestimmt.

Tabelle 2.2 Untersuchte bodenchemische und -physikalische Parameter mit Kurzbeschreibung der Methoden, Angabe der DIN-Norm bzw. des Autors und Aufführung möglicher Besonderheiten bei der Probenbearbeitung.

Bodenparameter	Methode	DIN-Norm/ Autor	Besonderheit
pH-Wert	Messung der H_3O^+ -Ionen-Konzentration in $0,01 \text{ mol l}^{-1}$ CaCl_2 -Lösung	DIN ISO 10390:2005-12	Feuchtes Bodenmaterial verwendet
Trockenrohddichte	Trocknung und Wägung der ungestörten Bodenprobe im 100-cm^3 -Stechzylinder	DIN EN ISO 11272:2017-07	-
Wassergehalt	Ofentrocknung für 24 h bei 105°C	DIN 18121-1:1998-04 DIN EN ISO 11461:2014-07	-
Gelöste anorganische Stickstoffverbindungen (N_{min})	Photometrische Ammonium-Bestimmung und Messung der Nitrit- und Nitratkonzentration mithilfe der Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC; Gerät: Agilent Binary Technologies 1200 Series)	Methodenbuch VDLUFA (1991), MEINCKE ET AL. (1992), SCHLICHTING ET AL. (1995)	feuchtes Bodenmaterial, Extraktion mit $0,0125 \text{ mol l}^{-1}$ CaCl_2 -Lösung Filtration des Eluats über N-freien Faltenfilter
Gesamtkohlenstoff und -stickstoff im Boden (C_{org} und N_{t})	Trockene Verbrennung bei 900°C im Elementaranalysator und chromatographische Auftrennung des CO_2 - N_2 -Gasgemisches 2010-11: Elementar VarioMAX CNS ab 2012: Elementar VarioMax Cube	DIN ISO 10694:1996-08 DIN ISO 13878:1998-11	-
Anorganischer Kohlenstoff (C_{anorg})	Verbrennung bei 550°C von C_{org} und bei 900°C C_{anorg} ab 2010: Elementar liqui TOC II umgerüstet auf Feststoffproben		

Die bodenmikrobiologischen Laboruntersuchungen wurden von Mai bis September 2019 am Institut für Bodenkunde der Universität Hamburg durchgeführt. Zu den untersuchten bodenmikrobiologischen Parametern gehörten die Bestimmung der mikrobiellen Biomasse im Boden (C_{mic} , N_{mic}) mit der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode sowie über die Substratinduzierte Respiration (SIR) gemessen mit der Heinemeyer-Anlage (CO_2 -Freisetzung) und am Sapromaten (O_2 -Verbrauch und CO_2 -Freisetzung). Zusätzlich zur Abundanz der Mikroorganismen wurde die potenzielle mikrobielle Aktivität über die Basalatmung ebenfalls mit der Heinemeyer-Anlage (CO_2 -Freisetzung) und mit dem Sapromaten (O_2 -Verbrauch und CO_2 -Freisetzung) sowie die Arginin-Ammonifikation bestimmt (siehe Tabelle 2.3).

Die Bodenproben wurden bis zum Zeitpunkt der Probenaufbereitung bei -20 °C gelagert.

Tabelle 2.3 Untersuchungsmethoden der bodenmikrobiologischen Parameter mit Kurzbeschreibung der Methoden, Angabe der DIN-Norm bzw. des Autors und Aufführung möglicher Besonderheiten bei der Probenbearbeitung.

Bodenmikrobiologischer Parameter	Methode	DIN-Norm/ Autor	Besonderheit
Mikrobielle Biomasse (C_{mic} und N_{mic}) nach CFE	Chloroform – Fumigation-Extraktion (CFE): C_{mic} - und N_{mic} -Bestimmung aller im Boden vorhandener Mikroorganismen aus der Konzentration von gelöstem, organischem Kohlenstoff (TOC) und Stickstoff (TON) in der Bodenlösung nach einer Inkubation mit Chloroform. ab 2010: Shimadzu TOC-L und TNM-L	DIN EN ISO 14240-2:2011-09 BROOKES ET AL. (1985) VANCE ET AL. (1987)	Filtration des Eluats der Extraktion über einen Faltenfilter Berechnungsfaktoren: C_{mic} : $K_{EC} = 0,38$ N_{mic} : $K_{EN} = 0,54$
Mikrobielle Biomasse (C_{mic}) nach SIR	Substratinduzierte Respiration (SIR): Bestimmung der glucoseaktiven mikrobiellen Biomasse durch Bestimmung von O_2 und CO_2 mit dem Sapromaten, bzw. von CO_2 mit der Heinemeyeranlage Sapromat ab 2010: SELUTECH GmbH Respirometer BSB digi Heinemeyeranlage MarCo Analytik Hildesheim: 2010-2015: Infrarot-Gasanalysator ADC 225 MK3 (Thünen-Institut Braunschweig) ab 2016: Infrarot-Gasanalysator CIRAS 3-DC (IfB Hamburg)	DIN EN ISO 14240-1:2011-09 nach ANDERSON & DOMSCH (1978) und DIN ISO 17155:2013-12 HEINEMEYER ET AL. (1989)	Verhältnis der Glucosemischung zur Probeneinwaage nach DIN (1 %), jeweils 0,5 g / 50 g bei der Heinemeyeranlage. Keine Einstellung des Bodenwassergehalts auf 40 % - 60 % der maximalen Wasserhaltekapazität vor der Messung wie in dem Bericht LLUR (2012).

Fortsetzung Tabelle 2.3

Bodenmikro- biologischer Parameter	Methode	DIN-Norm/ Au- tor	Besonderheit
Mikrobielle Basa- larmung (R_B)	<p>Infrarot-Messung der CO₂-Produktion bei der aeroben Bodenatmung heterotropher Mikroorganismen im Durchflussverfahren mit CO₂-haltiger Raumluft; Maß für die mikrobielle Aktivität im Boden</p> <p>Stöchiometrische Berechnung der CO₂-Freisetzung aus dem Verbrauch der 0,1 M Salzsäure bei der Titration der Natronlauge als CO₂-Absorber nach 24-stündiger Inkubation bei 20 °C im Sapromaten</p> <p>Bestimmung des Sauerstoffverbrauchs durch minütliche Messung des O₂-Partialdrucks während 24-stündiger Inkubation bei 20 °C im Sapromaten</p> <p>Sapromat ab 2010: SELUTECH GmbH Respirometer BSB digi</p> <p>Heinemeyeranlage MarCo Analytik Hildesheim:</p> <p>2010-2015: Infrarot-Gasanalysator ADC 225 MK3 (Thünen-Institut Braunschweig)</p> <p>ab 2016: Infrarot-Gasanalysator CIRAS 3-DC (IfB Hamburg), ab 2019: Korrektur der Luftströmung</p>	<p>DIN 19737:2001-04</p> <p>DIN 16072:2011-09</p> <p>DOMSCH (1962)</p> <p>HEINEMEYER ET AL. (1989)</p> <p>und DIN ISO 17155:2013-12</p>	Keine Einstellung des Bodenwassergehalts auf 40 % - 60 % der maximalen Wasserhaltekapazität vor der Messung wie in dem Bericht LLUR (2012).
Arginin-Ammonifikation (ARG)	Messung der potentiellen Stickstoffmineralisation in Bodenproben nach Zugabe der Aminosäure Arginin als leicht abbaubares Substrat; Maß für die potentielle mikrobielle aerobe N-Mineralisationsaktivität im Boden	ALEF & KLEINER (1987)	Inkubationsdauer 3 h bei 30 °C

2.2 Bedeutung der bodenmikrobiologischen Parameter

Die untersuchten bodenmikrobiologischen Parameter dienen als Indikatoren für den bodenökologischen Zustand. Veränderungen des ökologischen Gleichgewichts, welche durch äußere Einflüsse wie Klima und Bewirtschaftung hervorgerufen werden, spiegeln sich in diesen Parametern relativ kurzfristig wider. Nachfolgend werden die Indikatorfunktionen kurz erläutert.

Mikrobielle Biomasse (C_{mic})

Die mikrobielle Biomasse (C_{mic}) setzt sich aus dem Anteil der lebenden Mikroorganismen der gesamten organischen Bodensubstanz zusammen. Sie umfasst laut Definition alle Organismen kleiner 200 μm . Zur Mikroflora zählen sowohl die prokaryotischen Bakterien und Archaeen sowie Pilze, Flechten und Algen und zur Mikrofauna Protozoen, Rotaria sowie einige kleine Formen von Nematoden. Als Pool von leicht mineralisierbaren Haupt- und Mikronährstoffen mit hohen Umsatzraten stellt die mikrobielle Biomasse sowohl eine Senke als auch eine Quelle für Nährstoffe im Boden dar. Die mikrobielle Biomasse reagiert auf die Art und Menge der Kohlenstoffzufuhr, auf jahreszeitliche Klimaschwankungen, auf die Bewirtschaftungsweise sowie auf abiotische Bodenfaktoren (Ottow, 2011).

Die mikrobielle Biomasse wird in der vorliegenden Untersuchung durch zwei Methoden bestimmt, die unterschiedliche Mikroorganismen nachweisen. Mit der CFE-Methode werden aktive und ruhende sowie autotrophe und heterotrophe Organismen erfasst. Dagegen wird bei der SIR-Methode nur die glucoseverwertende somit heterotrophe, aktive Biomasse bestimmt. Zudem spielt auch das Verhältnis der mit der CFE-Methode gemessene Gesamtgehalt der mikrobiellen Biomasse (C_{mic}) zu der durch die SIR-Methode bestimmten Biomasse eine Rolle als Indikator. d.h. Veränderungen im Anteil der glucoseverwertenden mikrobiellen Biomasse als Folge von Bodenbewirtschaftungsmaßnahmen, Düngungen, Stressoren oder pedogenetischen Bodenentwicklungen lassen sich im $C_{mic-SIR}/C_{mic-CFE}$ -Verhältnis ablesen (Ottow, 2011).

Mikrobieller Quotient (Q_{mic})

Als quantitativer Anteil der mikrobiellen Biomasse an der gesamten organischen Bodensubstanz ist der mikrobielle Quotient (Q_{mic}) ein Indikator für den Kohlenstoffhaushalt im Boden. Dieser reagiert auf Veränderungen der Kohlenstoffzufuhr wesentlich schneller als der Humusgehalt und zeigt somit durch hohe Werte eine hohe Gesamtzufuhr frischer, leicht verwertbarer organischer Substanz an. Niedrige mikrobielle Quotienten deuten dagegen auf Störungen im Kohlenstoffhaushalt hin, welche z. B. durch eine geringe Kohlenstoffzufuhr oder durch verringerten Kohlenstoffabbau im wassergesättigten Bereich verursacht werden (Höper und Kleefisch, 2001).

Basalatmung (R_B)

Die Basalatmung (R_B) bezeichnet die aerobe Respiration im Zustand minimaler Energieaufnahme der Mikroorganismen durch die Mineralisation relativ stabiler organischer Reststoffe zur Aufrechterhaltung der Stoffwechselfunktionen und somit die Sauerstoffabgabe und Kohlendioxidfreisetzung. Es findet kein Wachstum der mikrobiellen Biomasse statt. Dieser Zustand wird langfristig erreicht, wenn sich die Kohlenstoffzufuhr und der Kohlenstoffabbau im Gleichgewicht befinden, z. B. durch Einstellung von Düngemaßnahmen. Daraus resultiert eine konstante und standortspezifische Basalatmung. Die Basalatmung korreliert stets signifikant mit der mikrobiellen Biomasse sowie mit dem Gesamtkohlenstoff- und -stickstoffgehalt und kann als Parameter angesehen werden, welcher

die Verfügbarkeit von relativ schwer abbaubaren Kohlenstoffverbindungen für die Erhaltung der Bodenmikroorganismen charakterisiert (Ottow, 2011).

Metabolischer Quotient (Q_{met})

Der metabolische Quotient (Q_{met}) berechnet sich aus der Basalatmung und aus der mikrobiellen Biomasse und gibt Auskunft über den pro Zeit- und Biomasseeinheit veratmeten Kohlenstoff. Der metabolische Quotient steht somit für die Effizienz der Substratnutzung der Mikroorganismen. Je kleiner der Quotient ist, desto weniger Substrat wird veratmet und desto mehr Substrat wird in die mikrobielle Biomasse eingebaut (Jørgensen, 1995). Unter Belastung sinkt dagegen die Effizienz der Substratverwertung und der metabolische Quotient steigt. Der Q_{met} kann somit als Indikator für den Einfluss von Bodenbearbeitung bzw. Stressoren herangezogen werden, denn dadurch nimmt Q_{met} zu. Die Entwicklung eines stabilen Zustandes im Bodenökosystem führt dagegen zur Abnahme des Q_{met} (Ottow, 2011).

2.3 Probenahme

Die Probenahme auf 12 BDF im Frühjahr 2019 wurde durch das LLUR durchgeführt (Tabelle 2.4). Der Zeitpunkt wurde so gewählt, dass die Probenahme nach dem letzten Frost bei nicht mehr vollständig gefrorenem Boden und vor potentiellen Pflegemaßnahmen im Frühjahr (Baumstammentnahme, Kalkung) stattfand (Tischer, 2006, LLUR, 2014).

Tabelle 2.4: Im Frühjahr 2019 beprobte BDF mit Nutzung und Datum der Probenahme. Gruppirt in Grünland/Sukzession, Wald und Acker.

BDF-Nr.	BDF-Name	Datum der Probenahme	Beprobungstiefe bzw. Mächtigkeit der org. Auflage
01	List/Sylt	27.02.2019	Ofh +2,6 cm Aeh -5 cm
21	Speicherkoog/Dthm.	12.03.2019	Ofh&Ah -2,5 cm Ah -10 cm
25	Kudensee/Landscheide	11.03.2019	nHv -10 cm
33	Hellbachtal	08.04.2019	nHv -10 cm
37	Hamburger Hallig	12.03.2019	zGo-Ah -10 cm
02	Süderlügum	28.02.2019	Of&Oh +8,7 cm Aeh -2,5 cm
07	Pobüller Bauernholz	06.03.2019	Of +5,8 cm Oh +11,1 cm Aeh -3 cm
20	Wüstenfelde	07.03.2019	Of&Oh +2,4 cm Aeh -2,5 cm
32	Hahnheide	04.03.2019	Of&Oh +5,3 cm Aeh -2,5 cm
39	Hevenbruch	05.03.2019	Of&Oh +3,8 cm Aeh -2,6 cm
24	Bornhöved	25.02.2019	Ah -10 cm
31	Pinneberg	26.02.2019	Ah -30 cm

Das Schema der Probenahme ist in Abbildung 2.1 dargestellt. Entlang der vier Probenahmestrecken am Rand der 1000 m² großen BDF (LLUR, 2014) wurden die Bodenproben auf den Grünlandflächen aus dem obersten Dezimeter des Mineraloberbodens (5 cm auf BDF01) entnommen. Die Beprobung der Acker-BDF31 erfolgte bis 30 cm Tiefe. Die Waldstandorte wurden horizontbezogen beprobt (in der Regel Aeh) und weisen somit keine einheitlichen Beprobungstiefen auf. Zudem wurden auch die Waldhumusaufgaben beprobt sowie die organischen Auflagen der BDF01 und 21 (auf BDF21 Mischprobe aus Ofh und Ah). Die Bodenproben wurden zu jeweils vier Mischproben der einzelnen BDF-Kanten vereinigt. Um die Umrechnung der ermittelten Ergebnisse auf die Fläche der Horizonttiefe zu gewährleisten, wurden zusätzlich zu den Bodenmischproben an den vier Probenahmestrecken Stechzylinderproben (ungestörte Bodenproben à 100 cm⁻³ Bodenvolumen) zur Ermittlung der Trockenrohdichte entnommen.

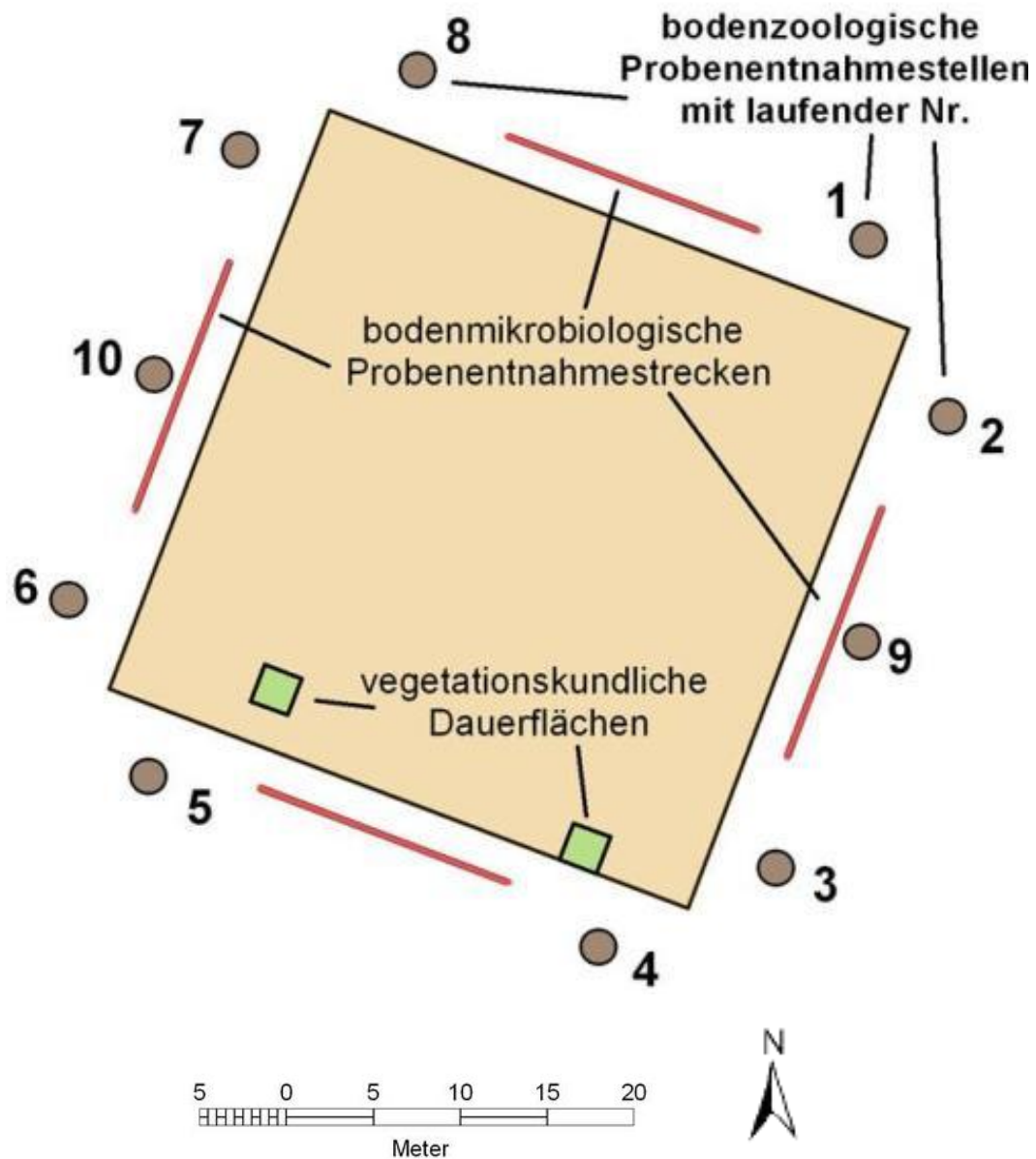


Abbildung 2.1: Schema der Fläche einer Bodendauerbeobachtungsfläche (BDF) mit Schema der Probenahme (aus: LLUR 2014).

In Kapitel 4 ist jedem Standort ein Unterkapitel gewidmet, welches jeweils die Situation während der Probenahme beschreibt und u.a. auch das Probenahmeprotokoll enthält.

2.4 Datenauswertung

Die durch die bodenchemischen und -mikrobiologischen Untersuchungen erhobenen Daten wurden mit dem Programm Microsoft Excel 2016 auf Gramm Trockengewicht bzw. Gramm Trockengewicht und Stunde und mithilfe der Trockenrohdichte aus den Stechzylinderproben auf m^2 Fläche der jeweiligen Horizonttiefe bzw. m^2 Fläche der jeweiligen Horizonttiefe und Stunde umgerechnet. Anschließend wurde für jeden Parameter der Flächen-Mittelwert aus den Einzelwerten der vier BDF-Kanten mit der zugehörigen Standardabweichung (Flächenheterogenität) berechnet. Die graphische Darstellung der Ergebnisse erfolgte ebenfalls mit dem Programm Microsoft Excel 2016.

Die Korrelationen der Untersuchungsparameter wurden als bivariate (zweiseitige) Korrelationen nach Pearson mithilfe der Software IBM SPSS Statistics, Version 21, ermittelt. Hierfür wurden bei den einzelnen BDF die Ergebnisse der gesamten Zeitreihe von der Erstuntersuchung bis zur aktuellen Untersuchung verwendet. Für die Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse 2019 wurden die Korrelationen aus den Daten der aktuellen Untersuchung aller BDF ermittelt. Abschließend erfolgte eine Korrelation der Zeitreihen aller BDF zusammen.

Für die Bewertung der erhobenen Daten wurden vom LLUR zur Verfügung gestellte Informationen zu Klima, Nutzung und Standortverhältnissen auf den BDF (z.B. Bodenart) herangezogen und die Klassifikation basierend auf den bisherigen Daten zur Bodendauerbeobachtung in Schleswig-Holstein verwendet.

3 Standortverhältnisse

3.1 Allgemeiner Überblick

3.1.1 Boden und Geologie und abiotische Faktoren

Die 12 im Jahr 2019 untersuchten BDF sind auf ganz Schleswig-Holstein verteilt und decken die Landschaftsformen Marsch, Geest und Östliches Hügelland ab (siehe Abbildung 1.1).

Die Marsch ist gekennzeichnet durch feinkörnige, bindige Substrate, welche unter dem Einfluss der Gezeiten als marine Sedimente nach der letzten Eiszeit abgelagert wurden. Aufgrund ihres Kalkgehaltes sind die Böden, die sich aus diesen Substraten entwickelt haben, durch höhere pH-Werte charakterisiert. Dieses zeigt sich bei den BDF21 und 37. Der wesentliche Unterschied zwischen beiden Standorten ist, dass die BDF37 weiterhin unter dem Einfluss des Meerwassers durch regelmäßige Überflutungen steht, während die BDF21 hinter dem Deich gelegen ist und nicht mehr überflutet wird. Ebenfalls in der Marsch gelegen ist die BDF25, deren Boden sich jedoch nicht aus den marinen Sedimenten, sondern aus dem Torf eines Niedermoors entwickelt hat.

Die BDF01, 02, 07 und 31 zählen landschaftlich zu der Hohen Geest, welche durch die Altmoränen der Saale-Eiszeit sowie später durch das Periglazial der Weichsel-Eiszeit geprägt wurde. Die Substrate der Hohen Geest sind somit auf die direkten Ablagerungen der Gletscher (BDF31) und auf spätere glazifluviatile (BDF07) und äolische (BDF01, 02) Umlagerungen der Weichsel-Eiszeit und des Holozäns zurückzuführen. In der Regel sind die Substrate der Altmoränenlandschaft tiefgründig entkalkt, was die Bodenversauerung an diesen Standorten begünstigt.

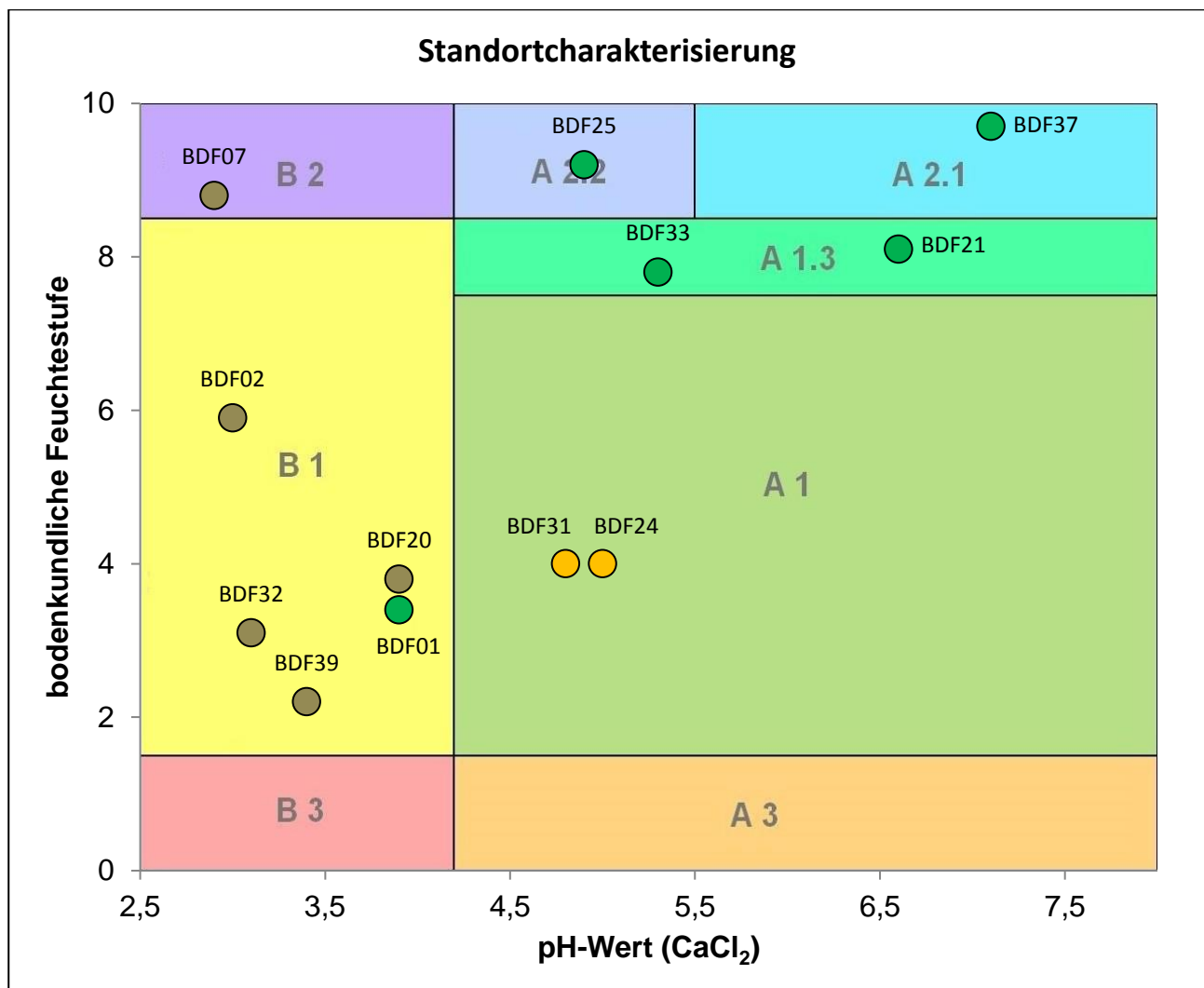
Fünf der zwölf BDF befinden sich im Östlichen Hügelland. Dieses zeichnet sich durch ein stärkeres Relief, welches durch die jüngeren Grund- und Endmoränen der letzten Weichselvereisung geformt wurde. Die hügelige Landschaft begünstigte beim Rückgang des Gletschereises das Bodenfließen, so dass das ursprünglich abgelagerte Moränensediment als Fließerde umgelagert wurde. Aus diesem Substrat entwickelten sich die zum Teil stauwasserbeeinflussten Böden der BDF20, 24, 32 und 39. Die BDF33 befindet sich in einer Senke des Östlichen Hügellandes, in welcher sich ein Niedermoor entwickelte.

In den einzelnen Unterkapiteln wird auf die Besonderheiten jeder BDF eingegangen. Zur besseren Einordnung und Vergleichbarkeit der untersuchten Standorte werden sie in Abbildung 3.1 im Zusammenhang von bodenkundlicher Feuchtestufe und pH-Wert dargestellt. Die farbigen Bereiche der Graphik stellen die Bodenlebensgemeinschaftstypen nach Beylich (2005) dar. Zudem befindet sich nachfolgend in Tabelle 3.1 eine Übersicht der geologischen und bodenkundlichen Standortbedingungen.

Tabelle 3.1: Zusammenfassung der zwölf im Jahr 2019 untersuchten BDF mit Angaben zum Naturraum, Substrat, Bodentyp, Bodenart und Stau- bzw. Grundwassereinfluss. Die Bestimmung der Bodentypen und der Bodenarten erfolgte durch das LLUR. Gruppirt in Grünland/Sukzession, Wald und Acker.

BDF	Name	Natur- raum	Substrat Stratigraphie	Bodentyp Bodenart	Grund- bzw. Stau- wassereinfluss
01	List/Sylt	Geestinsel	Flugsande qh	Podsoliger Re- gosol mS	nicht vorhanden
21	Speicherkoog/Dthm.	Marsch (Nordsee)	Marine Schluffe und Tone qh	Kalkmarsch Lu	schwach ausgeprägter Grundwassereinfluss
25	Kudensee/ Land- scheide	Marsch (Nordsee)	Niedermoor qh	Niedermoor Hn (T)	ab 40 cm Tiefe
33	Hellbachtal	Östliches Hügelland	Niedermoor qh	vererdetes Nie- dermoor Hn (SI2)	ab 30 cm Tiefe
37	Hamburger Hallig	Marsch (Nordsee)	Marine Schluffe und Tone qh	Rohmarsch Tu3	deutlicher Grundwas- sereinfluss
02	Süderlügum	Hohe Geest	Flugsande qh	Podsol (Trepo- sol) mSfs	nicht vorhanden
07	Pobüller Bauernholz	Hohe Geest	Sandersande qp	Pseudogley-Pod- sol SI2-Su2	Stauwassereinfluss tw. bis Aeh
20	Wüstenfelde	Östliches Hügelland	Fließerde qp	Parabraunerde- Pseudogley SI4-Ls3	Pseudovergleyung im Unterboden
32	Hahnheide	Östliches Hügelland	Fließerde qp	Podsol-Braun- erde SI2	nicht vorhanden
39	Hevenbruch	Östliches Hügelland	Fließerde qp	Pseudogley- Braunerde SI3	Staunässe im Unterbo- den
24	Bornhöved	Östliches Hügelland	Geschiebedeck- sand qp	Braunerde SI2-Su2	nicht vorhanden
31	Pinneberg	Hohe Geest	Geschiebedeck- sand qp	Braunerde SI2-Su2	ab > 1 m Tiefe

qh = Quartär-Holozän, qp = Quartär-Pleistozän



A 1	stark sauer bis schwach alkalisch, mittel trocken bis schwach feucht	A 3	stark sauer bis schwach alkalisch, stark bis mittel trocken
A 1.3	stark sauer bis schwach alkalisch, schwach bis mittel feucht	B 1	äußerst bis stark sauer, mittel trocken bis mittel feucht
A 2.1	mittel sauer bis schwach alkalisch, mittel feucht bis nass	B 2	äußerst bis stark sauer, mittel feucht bis nass
A 2.2	stark bis mittel sauer, mittel feucht bis nass	B 3	äußerst bis stark sauer stark bis mittel trocken

Abbildung 3.1: Die im Jahr 2019 untersuchten BDF im Ökogramm der Standortfaktoren. Bodenlebensgemeinschaftstypen A1 bis B3 nach BEYLICH et al. (2005). Punktfarben: braun: Wald, grün: Grünland und Sukzession, orange: Acker.

3.1.2 Klima- und Witterungseinflüsse

In der mittel- und langfristigen Bewertung der Entwicklung der Bodendauerbeobachtungsflächen spielt das Klima eine wichtige Rolle. Der Tabelle 3.2 kann entnommen werden, dass die Durchschnittstemperatur im Vorjahr 2018 auf allen BDF im Mittel um 2 °C über dem langjährigen Mittel (1961-1990) lag. Außerdem nahm die Höhe der Niederschläge im Vorjahr 2018 im Mittel um 200 mm zum langjährigen Mittel ab. Da ein Großteil der untersuchten Böden vom Grundwasser beeinflusst ist, werden die Auswirkungen der Niederschlagsschwankungen auf den Oberboden durch das Grundwasser zum Teil kompensiert.

Die Verteilung der Standorte über die Landesfläche zeigt ein heterogenes Bild hinsichtlich der klimatischen Standortbedingungen (Abbildung 3.2). In Bezug auf den Mittelwert von ganz Schleswig-Holstein sind etwa vier Standortgruppen erkennbar. Kühlere und feuchtere Klimabedingungen traten an den Standorten BDF02 Süderlügum, BDF07 Pobüller Bauernholz und BDF37 Hamburger Hallig auf. Kühlere, jedoch trockenere Bedingungen zeigten sich für die Flächen BDF20 Wüstenfelde und BDF24 Bornhöved. Trockeneres und wärmeres Klima zeigte sich 2018 an den Standorten BDF01 Sylt, BDF31 Pinneberg, BDF32 Hahnheide und BDF33 Hellbachtal. Die Standorte BDF21 Speicherkoog und BDF25 Landscheide waren hingegen durch wärmere aber in etwa durchschnittlich feuchte Klimabedingungen gekennzeichnet. Durchschnittlich warm, jedoch wesentlich trockener verlief das Vorjahr am Standort BDF39 Hevenbruch.

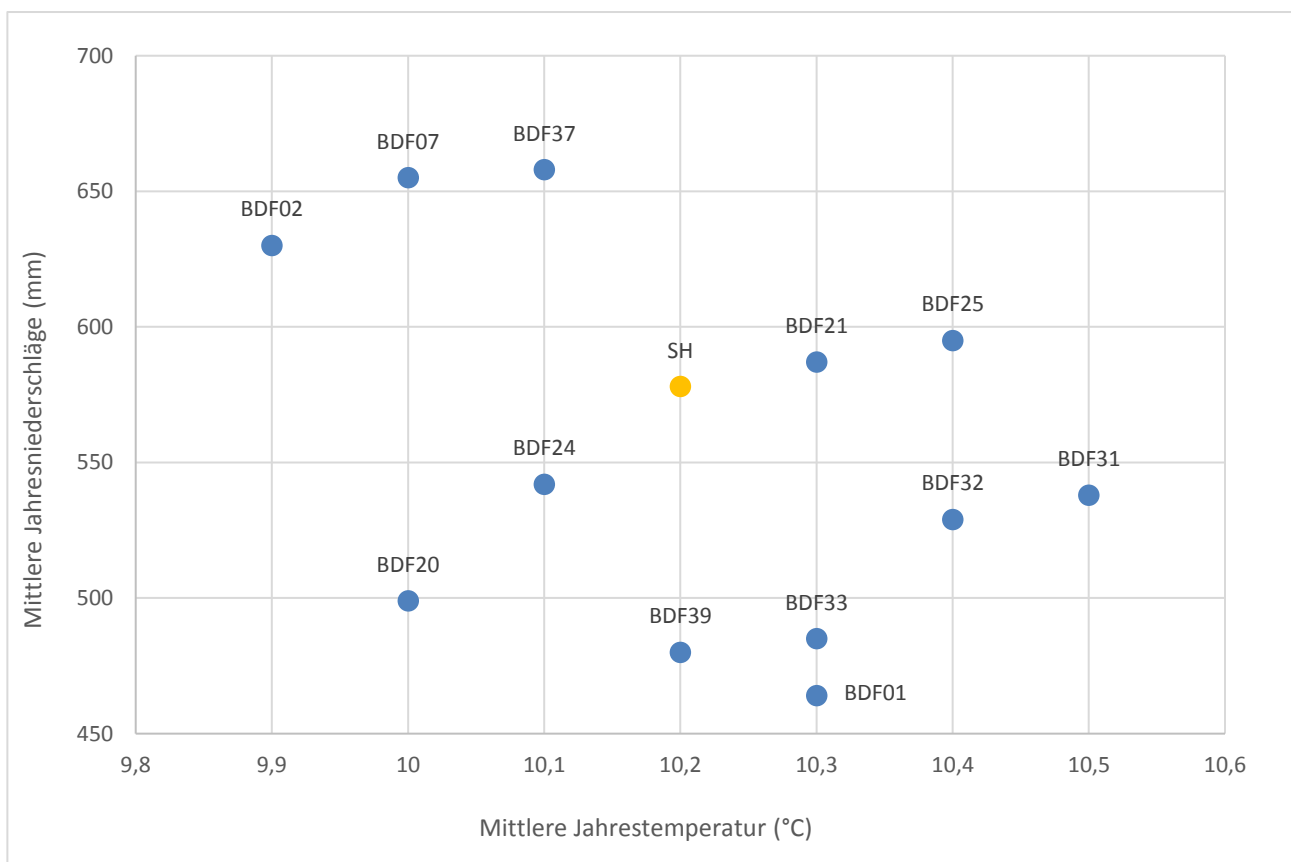


Abbildung 3.2: Mittlere Klimabedingungen des Jahres 2018 der zwölf BDF und des Landesdurchschnitts im Vergleich.

Tabelle 3.2: Temperatur- und Niederschlagsmittelwerte der 15 Monate vor der Probenahme, sowie jährliches, 6-jährliches und langfristiges Mittel der im Jahr 2019 untersuchten BDF. Quelle: LLUR.

Pro- jekt	Mittel 1961- 1990	Mittel 2013- 2018	Mittel 2018 Jahr	De.18- Fe.19 Mai- Okt.	2018												2019			
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	
Durchschnittstemperatur in °C																				
1	8,4	10,1	10,3	16,3	4,5	3,2	0,5	1,3	8,8	16,0	16,5	19,0	18,8	15,6	11,7	6,6	5,2	3,3	4,9	6,4
2	7,9	9,5	9,9	15,7	3,9	2,9	-0,5	1,4	9,3	15,4	16,5	18,9	17,9	14,5	11,0	6,2	5,0	2,2	4,5	6,2
7	7,9	9,6	10,0	15,8	4,0	3,0	-0,5	1,5	9,6	15,3	16,6	19,2	18,1	14,6	11,2	6,2	5,0	2,2	4,7	6,3
20	8,2	9,6	10,0	16,0	4,0	3,2	-0,6	1,3	9,2	14,4	16,8	19,7	18,8	15,0	11,3	6,1	5,1	2,0	4,8	6,3
21	8,3	9,8	10,3	16,3	4,2	3,4	-0,3	1,9	10,2	16,2	16,9	19,3	18,5	15,0	11,7	6,1	5,3	2,4	4,9	6,7
24	8,2	9,6	10,1	16,1	3,9	3,2	-0,8	1,4	10,0	15,4	16,9	19,7	18,6	14,6	11,2	5,9	5,1	1,9	4,7	6,3
25	8,2	9,9	10,4	16,4	4,3	3,4	-0,6	2,0	10,7	16,4	17,2	19,6	18,8	14,9	11,5	6,0	5,5	2,3	5,0	6,8
31	8,4	10,0	10,5	16,6	4,2	3,5	-1,0	2,0	11,2	16,6	17,5	20,1	19,0	15,0	11,2	5,8	5,4	2,1	5,1	7,0
32	8,2	9,8	10,4	16,5	3,9	3,2	-1,2	1,7	11,0	16,3	17,4	20,1	19,2	15,0	11,0	5,6	5,0	1,8	4,8	6,8
33	8,3	9,8	10,3	16,5	3,7	3,2	-1,7	1,6	11,2	16,6	17,7	20,3	19,0	14,8	10,5	5,1	4,9	1,7	4,4	6,8
37	8,1	9,7	10,1	15,9	4,1	3,1	-0,3	1,5	9,6	15,6	16,6	19,1	18,2	14,8	11,3	6,3	5,2	2,4	4,7	6,4
39	8,3	9,7	10,2	16,4	3,7	3,2	-1,5	1,4	10,9	16,2	17,4	20,1	19,0	14,9	10,8	5,3	4,9	1,7	4,6	6,6
Niederschlagssumme in mm																				
1	745	649	464	209	111	65	14	30	58	7	26	4	62	76	34	30	58	28	25	77
2	810	849	630	258	177	101	31	52	77	10	34	26	71	69	48	35	76	46	55	118
7	847	902	655	252	187	121	41	55	68	20	33	12	68	65	54	28	90	46	51	126
20	752	701	499	183	155	91	21	69	48	16	27	20	60	31	29	18	69	43	43	84
21	807	810	587	264	160	110	22	36	58	11	44	17	72	74	46	26	71	46	43	98
24	773	795	542	194	187	116	21	59	53	17	29	16	57	38	37	18	81	56	50	109
25	814	821	595	250	187	125	18	39	53	18	41	30	69	45	47	26	84	59	44	109
31	780	757	538	206	189	114	14	43	53	17	55	29	41	25	39	19	89	62	38	85
32	762	755	529	171	187	114	21	62	51	12	34	35	38	22	30	18	92	63	32	89
33	692	681	485	158	155	106	16	76	46	17	20	50	30	17	24	12	71	61	23	78
37	747	844	658	262	172	111	36	48	89	9	34	17	77	76	49	32	80	44	48	110
39	682	683	480	159	162	104	18	64	42	15	28	37	34	19	26	15	78	58	26	80

3.1.3 Bewirtschaftung

Von den 12 im Jahr 2019 untersuchten BDF stellen fünf BDF Waldflächen dar. Neben einem Nadelwald-Standort (BDF02 Süderlügum) sind die übrigen Wald-BDF (BDF07 Pobüller Bauernholz, BDF20 Wüstenfelde, BDF32 Hahnheide und BDF39 Hevenbruch) in Laubwäldern (überwiegend Buche) gelegen. Mit Ausnahme der BDF39 Hevenbruch erfolgt an den übrigen vier Waldstandorten eine Bewirtschaftung in Form von überwiegend vereinzelt Baumstammentnahmen.

Von den restlichen sieben BDF befinden sich fünf Standorte auf Grünland- und Sukzessionsflächen. Die Beweidung der Grünlandflächen erfolgt durch Rinder extensiv auf der BDF33 Hellbachtal und BDF25 Landscheide. Die Sukzessionsflächen der BDF01 Sylt und BDF37 Hamburger Hallig werden von Schafen in unterschiedlicher Ausprägung (gelegentlich bis ganzjährig) extensiv beweidet, während die BDF21 Speicherkoog lediglich von Wildtieren besucht wird.

Von den übrigen zwei Standorten stellt die BDF24 Bornhöved einen Standort unter Acker-Grünland-Wechselnutzung dar, welcher im Vorjahr der Untersuchung als Grünland genutzt wurde. Die BDF31 Pinneberg liegt hingegen auf einer Ackerfläche, welche zu etwa einem Viertel als Baumschule zur Aufzucht von Nadelgehölzen bewirtschaftet wird. Beide Flächen werden in unterschiedlicher Art gedüngt. Die Düngung der BDF24 Bornhöved erfolgte in den letzten Jahren überwiegend durch die Ausbringung von Rindergülle, während die BDF31 Pinneberg verstärkt mit Mineraldünger gedüngt wurde. Beide Flächen werden zudem mechanisch bearbeitet.

Eine zusammenfassende Übersicht zur Bewirtschaftung befindet sich nachfolgend in Tabelle 3.3.

Tabelle 3.3: Zusammenfassung der Nutzungs- und Vegetationsformen der zwölf untersuchten BDF aus den Angaben der Standortbeschreibungen und der Schlagkartei. Gruppiert in Grünland/Sukzession (grün), Wald (braun) und Acker (orange).

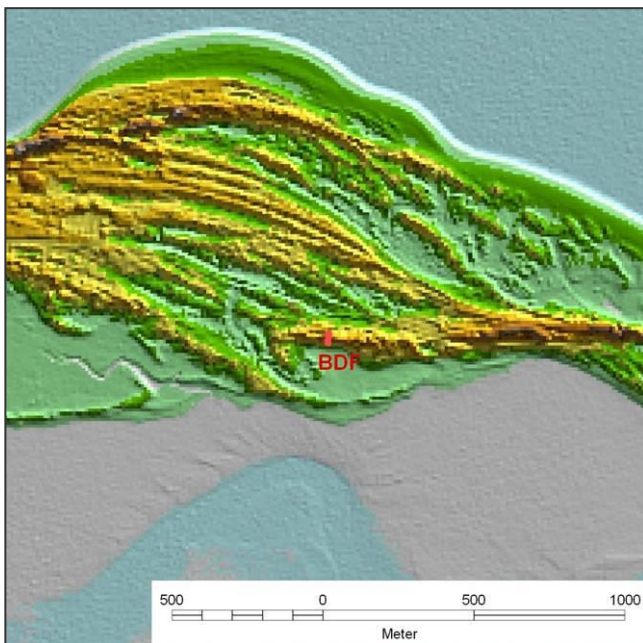
BDF	Name	Nutzung	Vegetation	Düngung
1	List/Sylt	Extensiv beweidetes Grünland	Sukzession Düne	keine
21	Speicherkoog/Dthm.	keine	Sukzession Ruderalfläche	keine
25	Kudensee/Landscheide	Extensiv beweidetes Grünland	Feuchtstandort	keine
33	Hellbachtal	Extensiv beweidetes Grünland	Feuchtstandort	keine
37	Hamburger Hallig	Extensives beweidetes Grünland	Deichvorland	keine
2	Süderlügum	Forst	Nadelwald, keine natürliche Waldgesellschaft zuordenbar	keine
7	Pobüller Bauernholz	Forst	Buchen-Eichenwald in Pfeifengras-Ausbildung	keine
20	Wüstenfelde	Forst	Perlgras-Buchenwald	keine
32	Hahnheide	Forst	Drahtschmielen-Buchenwald	keine
39	Hevenbruch	keine	Perlgras-Buchenwald	keine
24	Bornhöved	Grünland	Wirtschaftsgrünland	zuletzt organisch
31	Pinneberg	Acker/Baumschule, Wiese	Baumschule, Nadelgehölze, Dt. Weidelgras	überwiegend mineralisch

3.2 BDF01 List/Sylt



3.2.1 Landschaft

Die BDF01 liegt auf einer Düne des Ellenbogens im Norden der nordfriesischen Geestinsel Sylt. Die BDF liegt auf einem Dünenkamm zwischen 4 und 10 mm über NN. Die Dünen der Umgebung sind bis zu 17 m hoch und vollständig aus Dünensand aufgebaut, dem sich im Süden ein Sand- und Mischwatt anschließt. Das Bodeninventar der Dünen und Strandwälle erstreckt sich in Abhängigkeit vom Alter und der Lage der Strandwall-/Dünensande von Gley-Syrosemien über Regosolen, Braunerden zu Podsolen. In den Dünentälern liegen mehr oder weniger stark grundwasserbeeinflusste Böden. Im Bereich der Wattflächen sind Roh-, Salz- und Kalkmarschen zu finden (Abbildung 3.3).



Böden. Im Bereich der Wattflächen sind Roh-, Salz- und Kalkmarschen zu finden (Abbildung 3.3).

Abbildung 3.3: Geländeformen im Umland der BDF01 blau = Nordsee und tiefergelegene Wattflächen; grau = Wattflächen; hellgrün = Strand und tief-gelegene Dünenbereiche, gelb, braun = öhergelegene Dünenbereiche

Die Dünen und auch die BDF sind unter Naturschutz gestellt und werden sehr extensiv als Schafweide genutzt.

3.2.2 Boden und Geologie

Die BDF liegt auf der vom Meer abgewandten, südlichen Seite des Ellenbogens. Im Übergangsbereich zur Tertiärdüne hat sich ein podsolierter Regosol aus holozänen Dünensanden herausgebildet.

Der Oberboden ist besonders auf der Südseite der Düne bis zum Dünenkamm teilweise von einem bis zu 5 cm mächtigen Graswurzelfilz-Moder überdeckt. Der 6 cm mächtige und sauergebleichte Oberboden besteht aus mittel humosem Mittelsand, der mit einer sehr geringen effektiven Lagerungsdichte sehr locker gelagert ist. Das enge C/N-Verhältnis von 14/1 deutet auf relativ jungen

Dünensand und/oder Zufuhr von Nährstoffen von der unmittelbar benachbarten Nordsee hin. Der Meereseinfluss wird auch an den pH-Werten (CaCl_2) deutlich, die am Süden der BDF mit 4,5 um einen Wert höher liegen als an den weiter vom Meer abgelegenen Bereichen der BDF mit 3,5. Insgesamt liegt der pH-Wert im stark bis sehr stark sauren Bereich bzw. im Austauscher- oder Aluminium-Pufferbereich.

Unter dem Oberboden ist im Dünensand bis in 70 cm Tiefe eine beginnende Bodenentwicklung sowie fossile Humusanreicherung festzustellen. Ab 70 cm Tiefe steht der nur schwach verwitterte Dünensand als Ausgangsgestein an. Ein Grundwassereinfluss besteht nicht.

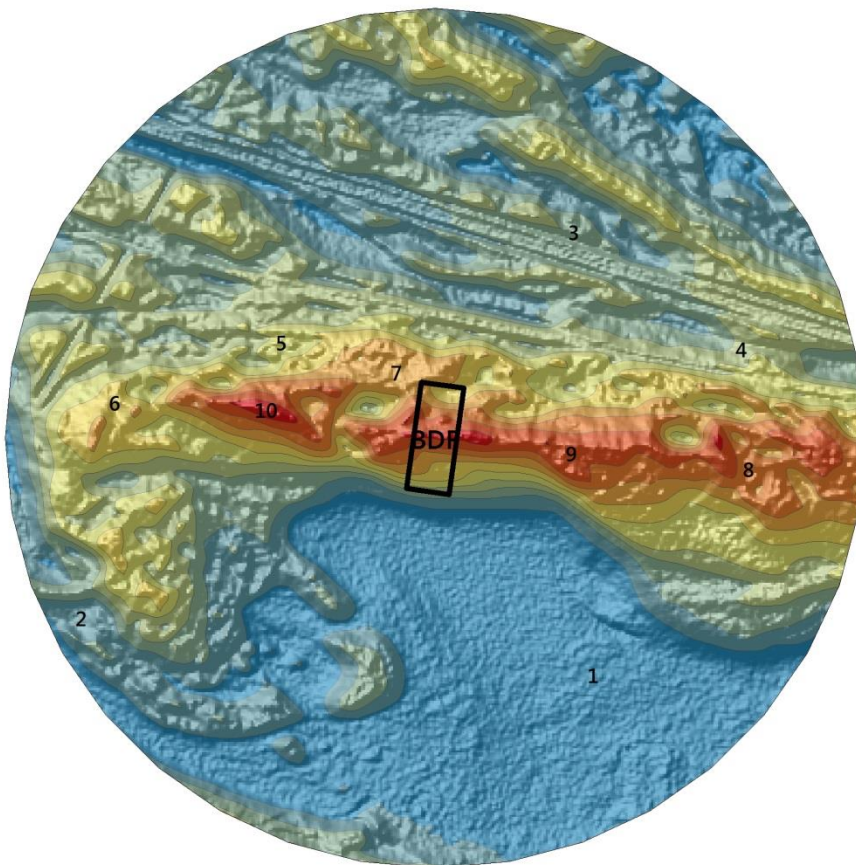


Abbildung 3.4: Relief in der Umgebung der BDF

3.2.3 Klima, Witterung und Wasserhaushalt

Die Jahresdurchschnittstemperatur beträgt 8,4°C. Die Jahresniederschläge von 745 mm liegen etwas unter dem schleswig-holsteinischen Durchschnitt.

Aufgrund seiner Lage auf einem Dünenkamm ist die BDF sehr gut entwässert. Die effektive Durchwurzelung reicht bis 78 cm. Die Feldkapazität beträgt 281 mm, wovon 107 mm pflanzenverfügbar sind.

Von 745 mm Niederschlag verbleiben nach Verdunstung und Transpiration der Pflanzen 201 mm als klimatische Wasserbilanz. Von April bis August besteht die Gefahr eines Wasserbilanzdefizites. Die Hauptvegetationsperiode (Mai-Oktober) insgesamt ist von einem Wasserbilanzdefizit gekennzeichnet (Tabelle), so dass die bodenkundliche Feuchtestufe als schwach bis mittel trocken anzusprechen ist.

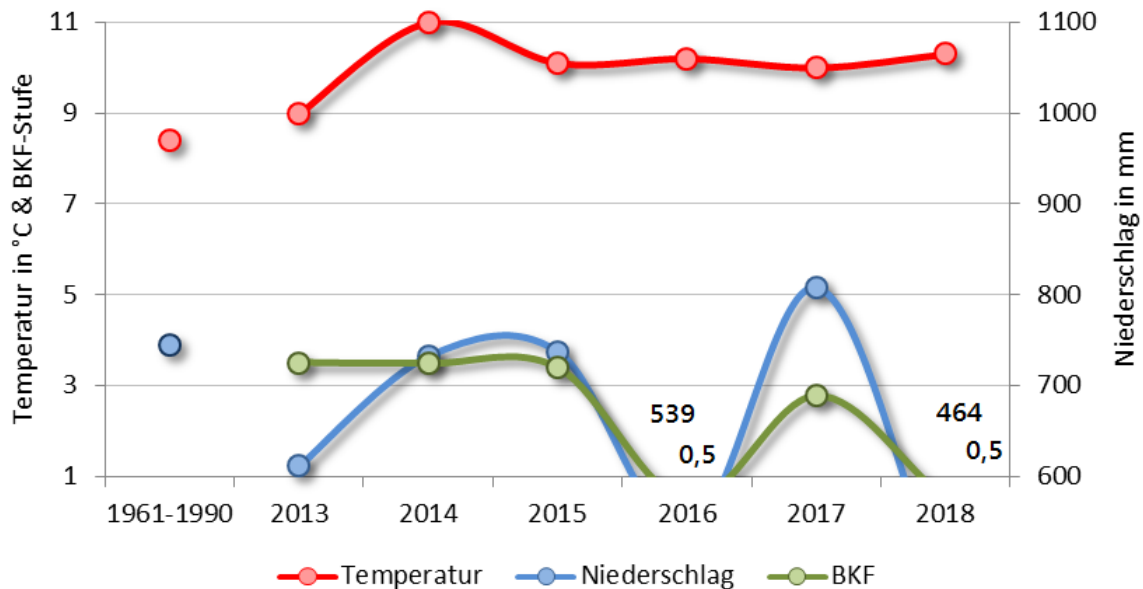


Abbildung 3.5: Temperatur, Niederschlag und bodenkundliche Feuchtestufe an der BDF01

Zeitraum	Temperatur (°C)	Niederschlag (mm)	BKF
1961-1990	8,4	745	
2013-2018	10,1	649	2,4
2018	10,3	464	0,5

Tabelle 3.4: Klima/Witterung und Wasserhaushalt zu verschiedenen Zeiträumen, Temperatur in °C im Jahresdurchschnitt, Niederschlag in mm als Jahressumme, bodenkundliche Feuchtestufe (BKF)

In den letzten fünf Jahren lagen die Temperaturen im Schnitt 1,7 °C über dem langjährigen Durchschnitt von 1961-1990. Die Niederschläge lagen um etwa 100 mm im Jahr unter dem langjährigen Durchschnitt, schwankten aber relativ stark (Abbildung 3.5). Trotzdem war die bodenkundliche Feuchtestufe des Standortes konstant als schwach bis mittel trocken anzusprechen.

Das Jahr 2018 war sehr warm mit einem außergewöhnlich heißen Sommer. Es fielen rund 200 mm weniger Niederschläge als im Durchschnitt der Jahre 2013-2018. Der Standort war als dürr bis stark trocken anzusprechen (BKF0-1).

3.2.4 Bewirtschaftung

Die BDF wird als Schafweide extensiv genutzt. Das Gelände ist nicht abgezaunt, d. h. die Schafe können sich ihren Platz frei auswählen. Innerhalb der BDF sind einige Pfade ausgetreten und Schafkot zu beobachten. Wie stark die Schafe die Entwicklungen auf der BDF tatsächlich beeinflussen, kann nicht abgeschätzt werden.

3.2.5 Vegetationskunde

Die im Gebiet auftretenden Pflanzengesellschaften und die zugehörigen Kenn- bzw. Charakterarten und Differenzialarten wurden im Abschnitt zu den Belegaufnahmen vorgestellt. In der BDF treten im Wesentlichen 4 voneinander relativ gut unterscheidbare Vegetationseinheiten auf:

- Die allein von Strandhafer als Kennart gekennzeichneten Bereiche am Südrand mit Einfluss von Salzwasser und Gischt, die im weitesten Sinne der Vegetation der Strandhafer-Weißdüne zugeordnet werden können
- Daran nördlich anschließend verhältnismäßig heterogene, teilweise beweidete Trockenrasenbereiche mit hohen Anteilen von Moosen und Flechten, oft niedrig, mager und offen, teils mit blütenreichen Fluren aus Strandnelke die im weitesten Sinn den Silbergrasfluren zugeordnet werden können. Sie repräsentieren die typische Vegetation der Graudüne.
- Kleinräumig gibt es darin Störstellen mit offenen Sandböden in denen eine Pioniervegetation aus Silbergras und früher Haferschmiele (*Aira praecox*) ebenfalls den Sandtrockenrasen zugeordnet werden kann.
- Die nach Norden gerichteten Hänge und Täler mit weniger windexponierten, festgelegten, seit langem nicht gestörten Sandböden werden von Zwergstrauchheiden eingenommen, die von Krähenbeere dominiert werden.

Diese Abfolge lässt sich auch anhand der Zeigerwerte der Vegetation nachvollziehen:

Die durchschnittlichen Feuchtwerte (F-Zahl nach ELLENBERG) liegen insgesamt wegen der sandigen Böden und dem zeitweilig auftretenden Trockenstress im unteren Bereich. Sie sind aber innerhalb der Vegetationstypen differenziert: Die hochwüchsigen Strandhafer-Bestände erlauben trotz der humusarmen sandigen Rohböden noch eine etwas ausgeglichener Bodenfeuchte (F: ca. 4) als die nördlich anschließende offene Graudüne (F ca. 3,8). Hier zeigen die Arten einen extrem trockenen Standort an, vor allem im Bereich der Bodenansrisse (BA2: F = 2,7). Die nach Norden exponierten Hänge mit den Krähenbeerenheiden zeigen demgegenüber wieder eine etwas ausgeglichene Bodenfeuchte an (F = 5,8), da hier eine Boden- und Humusbildung eingesetzt haben und die Vegetation verhältnismäßig dicht ist, der Boden also vor Austrocknung geschützt wird.

Bezogen auf die Reaktionszahl (R) ergibt sich demgegenüber eine kontinuierliche Abnahme der pH-Werte: Während nah der Spülsäume teilweise noch neutrale pH-Werte erreicht werden (R=6), liegen die Zeigerwerte der Vegetation im Bereich der Graudüne bereits deutlich im sauren Bereich (R=4). Im Bereich der Zwergstrauchheiden werden extrem saure Werte angezeigt (R=1,4-2,8).

Ebenso verhält es sich mit den Zeigerwerten für die Nährstoffgehalte der Standorte (N-Wert nach Ellenberg): im Bereich des Spülsäumen bzw. der Weißdüne wird ein Wert von rund 4,5 erreicht, im Bereich der Graudüne knapp 3 und im Bereich der Krähenbeerenheide (Braundüne) nur noch rund 2.

In den letzten Jahren fand für die gesamte BDF eine leichte Verschiebung des gesamten Arteninventars von den Stressstrategen hin zu den Konkurrenzstrategen d.h. von Arten die an Extremstandorte angepasst sind hin zu langlebigen Arten. Dies entspricht vor allem der Zunahme der Krähenbeerenheide im Gebiet.



Abbildung 3.6: BDF01 während der Probenentnahme am 10.04.2013, von links nach rechts: Strandhafer-Weißdüne im Süden, Trockenrasen im Übergang auf dem Dünenkamm, Zwergstrauchheiden im Norden

3.2.6 Bodenzoologie

Das Artenspektrum am Nordhang der BDF entspricht dem Zersetzergesellschaftstyp *Achaeto-Cognettietum*, der für bodensaure Heiden und Forsten mit der Humusform Moder charakteristisch ist. Ein reiner Oh-Horizont ist allerdings nur unter der Krähenbeerenheide entwickelt. An Stellen mit Silbergras-, Moos- und Flechtenbewuchs hat sich vor allem durch Windverwehung eine stark mit Sand vermischte organische Auflage gebildet. Am Hangfuß liegt eine salzbeeinflusste Zersetzergesellschaft vor, die durch das Auftreten von Salzzeigern und salztoleranten Arten gekennzeichnet ist. Im Bereich der Graudüne auf dem Südhang zeigt das gleichzeitige Vorkommen von Stark- und Schwachsäurezeigern eine Übergangssituation an. Im Vergleich mit den Referenzwerten für saure

Heidestandorten (BEYLICH & GRAEFE 2009) liegen im Bereich der Braundüne Siedlungsdichte der Kleiningelwürmer sowie die mittleren Feuchte- und Reaktionszeigerwerte im Erwartungsbereich. Für salzbeeinflusste Zersetzergesellschaften wurden bislang keine Referenzwerte formuliert. Auch Bodenlebensgemeinschaftstypen nach dem Ansatz von BEYLICH et al. (2005) wurden für salzbeeinflusste Standorte sowie Rohböden nicht definiert. Der Bodenlebensgemeinschaftstyp B1, der für die im Ökogramm dargestellte Standortfaktoren-Kombination typisch ist, ist nur im Bereich der Braundüne ausgebildet.

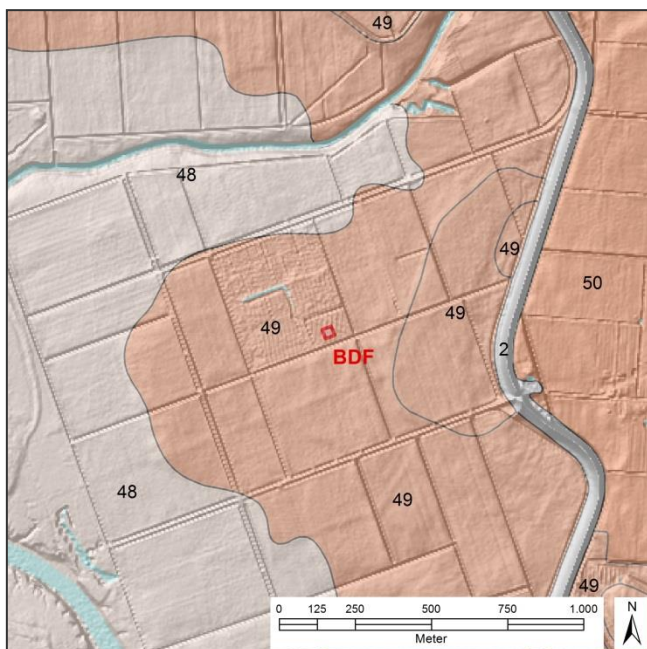
3.3 BDF21 Speicherkoog/Dithmarschen



3.3.1 Landschaft

Die BDF21 liegt etwa 8 km östlich von Büsum in der Dithmarscher Marsch.

Die BDF liegt 2 m über NN im Speicherkoog, der 1979 eingedeicht wurde. Das Gelände ist schwach nach Westen geneigt, d. h. es fällt auf einer Strecke von gut 1 km von etwa 2,5 m über NN auf 0,5 m über NN ab. Im Osten des Koogs lagerten sich überwiegend schluffige und im Westen des Kooges überwiegend sandige marine Sedimente ab. Hieraus entstanden entsprechende Kalkmarschen. Die Entwässerung des Kooges wird durch regelmäßig gepflegte, tiefe Gräben und eine moderne Entwässerungsanlage sichergestellt.



Hinter dem Ostdeich des Speicherkooges sind ältere marine Sedimente aus Schluff über Sand das Bodenausgangsgestein für Kalkmarschen. Deren Entwässerung ist durch die Eindeichung des Speicherkooges deutlich verbessert worden (Abbildung 3.7).

Abbildung 3.7: Bodenformen im Umland der BDF21 (Legende im Anhang)

Vorherrschende Nutzung ist nach dem automatischen Liegenschaftskataster (ALK, Stand 2011) der Ackerbau. Die Grünlandwirtschaft bleibt den stärker grundwasserbeeinflussten Marschen in der Nähe der Priele vorbehalten. Die Deiche werden wie üblich als Schafweiden genutzt. Die BDF liegt in einer etwa 15 ha großen Sukzessionsfläche, die sich zwar selbst überlassen bleibt, aber durch umlaufende Gräben umindest im Randbereich intensiv entwässert wird.

3.3.2 Boden und Geologie

In einer schwach geneigten Ebene bildete holozäner tidal-mariner Schluff bis Ton über holozänem tidal-marinem Sand das Ausgangsgestein für eine Kalkmarsch (Abbildung 3.8).

Der stark humose Oberboden besteht aus mitteltonigem Lehm. Es ist bereits ein schwach ausgeprägter Grundwassereinfluss erkennbar. Seine effektive Lagerungsdichte ist sehr gering. Die pH-Werte (CaCl_2) von 6,9 bewegen sich im neutralen bzw. im Carbonat-Puffer-bereich, in dem freier Kalk festgestellt worden ist. Die Humusform ist Mull. Sein enges C/N-Verhältnis von 10-11/1 ist typisch für junge Kalkmarschen mit natürlicher Vegetation.



Bis 34 cm Tiefe wechseln sich schluffig-tonige Sedimentlagen ab (Lu-Tu3). Danach werden die Sedimente sandig (Sl2-Su3) bei deutlich stärkerem Grundwassereinfluss. Die Horizonte sind anfänglich durch ein Plattengefüge gekennzeichnet und gehen ab 64 cm Tiefe in ein Kohärentgefüge über.

Abbildung 3.8: Kalkmarsch aus tidalmarinem Schluff bis Ton über tidal-marinam Sand (Leitprofil)

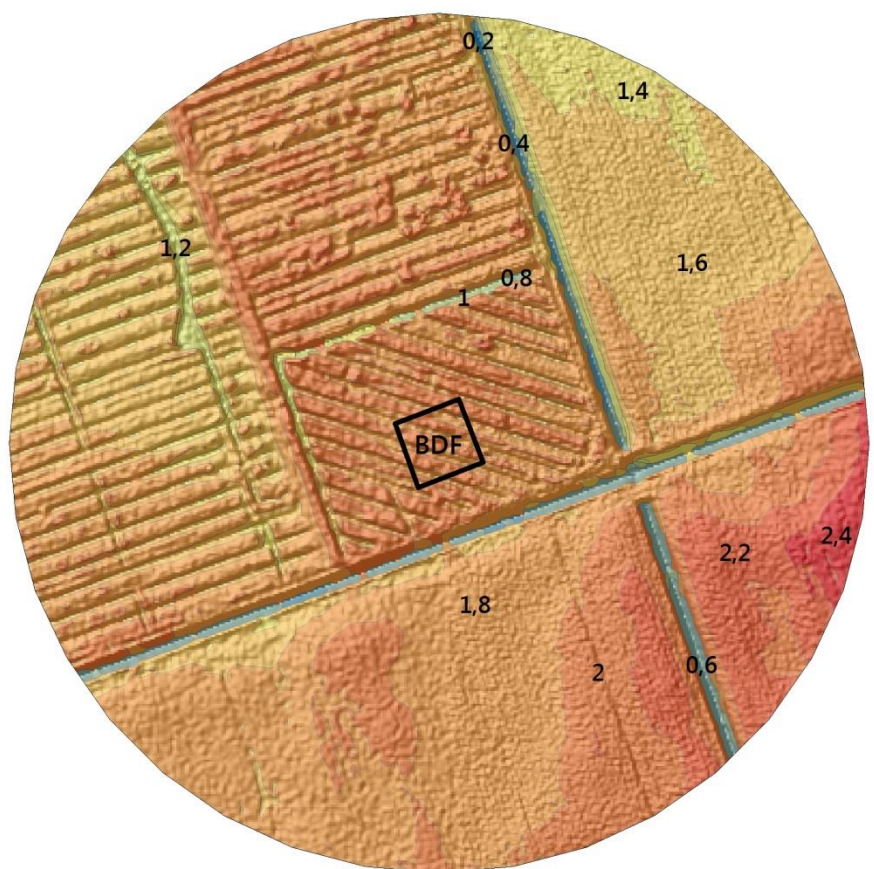


Abbildung 3.9: Relief in der Umgebung der BDF

3.3.3 Klima, Witterung und Wasserhaushalt

Die Jahresdurchschnittstemperatur von 8,3°C und die Jahresniederschläge von 807 mm und entsprechen in etwa dem schleswig-holsteinischen Durchschnittswert.

Der Standort liegt in einer sehr schwach geneigten Ebene. Der Höhenunterschied beträgt auf 1 km etwa 2 m. Die effektive Durchwurzelung reicht bis 80 cm. Von der Feldkapazität von 323 mm sind 195 mm pflanzenverfügbar.

Zeitraum	Temperatur (°C)	Niederschlag (mm)	BKF	Grüwa. (cm Tiefe)
1961-1990	8,3	807		
2013-2018	9,8	810	6,2	110
2018	10,3	587	2,8	161

Tabelle 3.5: Klima/Witterung und Wasserhaushalt zu verschiedenen Zeiträumen, Temperatur in °C im Jahresdurchschnitt, Niederschlag in mm als Jahressumme, bodenkundliche Feuchtestufe (BKF), Grundwasser in cm

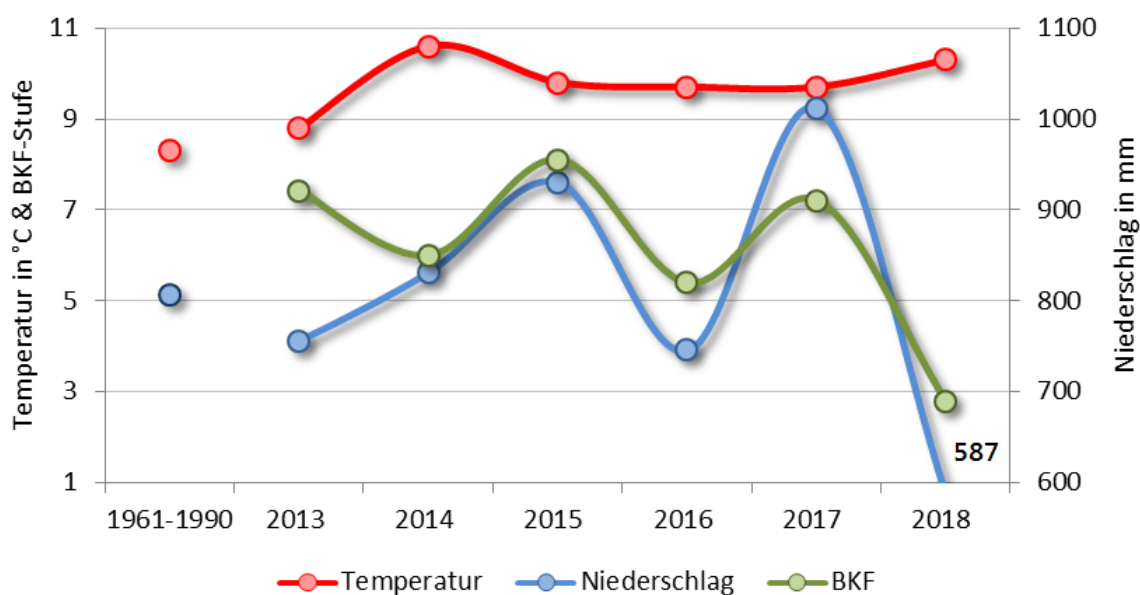


Abbildung 3.10: Temperatur, Niederschlag und bodenkundliche Feuchtestufe an der BDF21

Von 807 mm Niederschlag verbleiben nach Verdunstung und Transpiration der Pflanzen 276 mm als klimatische Wasserbilanz. Diese Wassermenge wird durch einen sehr hohen kapillaren Aufstieg aus dem Grundwasser ergänzt, das im Jahresdurchschnitt bei 110 cm unter GOF steht.

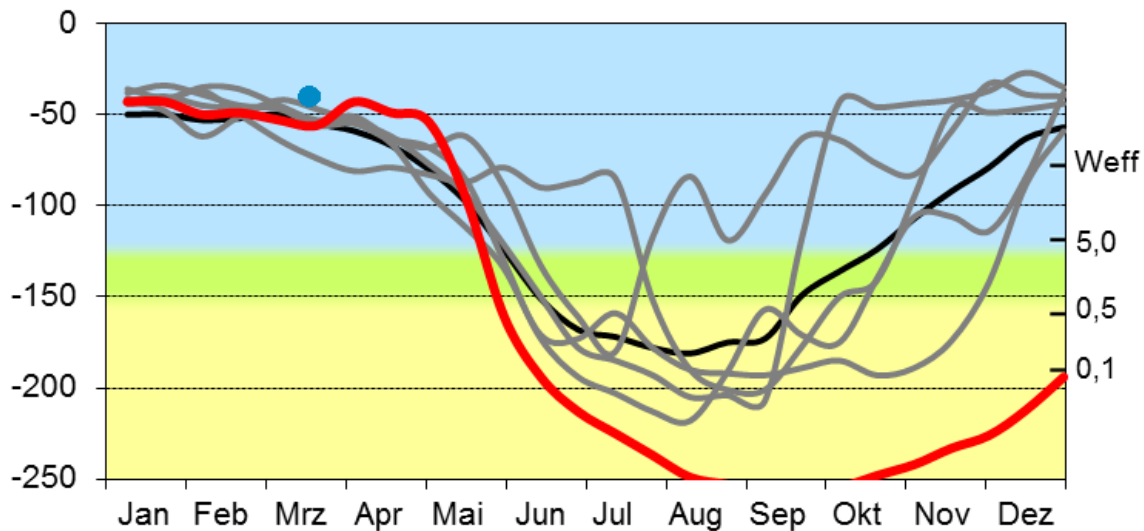


Abbildung 3.11: Grundwasserganglinien für die Jahre 2013 - 2017 (grau), 2018 (rot) sowie 1991-2018 (schwarz), Grundwasserstand zum Zeitpunkt der Probenentnahme (blauer Punkt), linke Skala: Tiefe in cm unter GOF, rechte Skala: Weff = Untergrenze des effektiven Wurzelraumes, Zahlenangaben kapillarer Aufstieg in mm/Tag aus der jeweiligen Tiefe (siehe linke Skala), untere Skala: lfd. Monate des Jahres

In der Hauptvegetationsperiode vom Mai bis Oktober liegt die klimatische Wasserbilanz mit +40 mm im positiven Bereich. Diese Wassermenge wird durch einen im Regelfall kräftigen kapillaren Aufstieg (~400 mm) aus dem im Schnitt bei 160 cm unter GOF stehenden Grundwasser ergänzt, so dass das Wasserbilanzdefizit in den Monaten Mai bis August weit mehr als ausgeglichen wird. In sehr trockenen Sommern kann die Wassernachlieferung (~100 mm) aus dem Grundwasser eingeschränkt sein.

Die letzten fünf Jahre waren im Schnitt 1,5°C wärmer bei vergleichbaren Niederschlägen wie im langjährigen Durchschnitt von 1961-1990 (Tabelle 3.5). Der Grundwasserstand schwankte in den letzten fünf Jahre stark in den Monaten Mai-November (Abbildung 3.11). Die bodenkundliche Feuchtestufe schwankte stark vom mittelfrischen bis zum mittelfeuchten Bereich (BKF5-8). Im Dürrejahr 2018 riss der Kontakt zum Grundwasser bereits im Mai ab, so dass der Standort als schwach trocken einzustufen war (BKF3).

3.3.4 Bewirtschaftung

Die BDF liegt in einer Sukzessionsfläche, die 1979 mit der Eindeichung des Speicherkooges angelegt wurde, und seitdem bis auf die Pflege der umliegenden Entwässerungsgräben der Natur überlassen wurde.



Abbildung 3.12: BDF21 bei der Probenentnahme am 24.03.2011

3.3.5 Vegetationskunde

In 2015 wurden die BDF und ihr Umland pflanzensoziologisch aufgenommen.

Aufgrund des recht tief eingeschnittenen und immer noch funktionstüchtigen dichten Grabensystems ist das Gebiet insgesamt stark entwässert. Feuchtgebietsspezifische Vegetation, Strandsimsebestände und kleinere Röhrichtanteile sind auf die Sohle tief eingeschnittener Gräben reduziert. Die Vegetation der Flächen ist in der Regel dicht, ausdauernd und an frische, nährstoffreiche Standorte angepasst. Über größere Flächen dominieren Gräser des Wirtschaftsgrünlandes, mit hohen Anteilen von Knauelgras, Wiesenfuchsschwanz, gewöhnlichem Rispengras und Rotschwingel, sodass die Vegetation hier an vielen Stellen den Fettwiesen und Weiden (*Arrhenatheretalia elatioris*) zugeordnet werden muss. Außerhalb der BDF werden die grasdominierten Krautfluren zum Teil aber auch von Quecken oder Rohrglanzgras beherrscht, die zu den Ausdauernden Ruderalfluren und Röhrichten bzw. Großseggenriedern überleiten. Neben den meist dominierenden Gräsern des Wirtschaftsgrünlandes gehören die meisten Begleitarten zu den Ruderalen Beifußfluren (*Artemisietea vulgaris*) bzw. den Schlagfluren (*Epilobietea angustifolii*). Die **pflanzensoziologisch ausgeschiedenen Klassen** zeigen in der Regel frische mäßig bis gut nährstoffversorgte Standorte an. Die Vegetation beider Klassen kann ausdauernde Bestände bilden, die erst langfristig in Vorwald-Stadien übergehen (*Rhamno-Prunetea*), die im Gebiet durch Gehölze wie Holunder, Weißdorn und Sal-Weide vertreten sind. In niedrigeren, zumindest zeitweilig feuchten Teilflächen werden die Gehölze auch zu einem hohen Anteil von Grau-Weide und anderen Weiden der Auengebüsche gebildet (*Salicetea purpurea*). Diese spielen in der BDF wegen der fehlenden Bodenfeuchte keine Rolle.

Die in allen Aufnahmen ermittelten durchschnittlichen **Zeigerwerte nach Ellenberg** liegen durchgängig innerhalb der BDF und im Umfeld bei ähnlichen Werten.

F-Wert: Der durchschnittliche Ellenberg Zeigerwert für die Feuchte des Standortes liegt bei allen Artenlisten aus dem Gebiet in einem engen Rahmen zwischen 5,1 und 6,1, im Durchschnitt bei 5,8 dies entspricht frischen bis feuchten Standorten. Ausgesprochene Nässezeiger dürften sich nur am Grunde der größeren Mulden im Gebiet finden. In den schmalen Gruppen ist keine ausgesprochene Feuchtvegetation ausgeprägt.

R-Wert: Die durchschnittlichen Ellenberg Zeigerwerte für die Bodenreaktion der Artenlisten liegen zwischen 6,1 und 7,8, für die meisten Aufnahmen jedoch in einem recht engen Rahmen um den Durchschnittswert 6,4. Dies entspricht einem nur sehr schwach sauren bis neutralen Standort.

N-Wert: Die durchschnittliche Stickstoffzahl der Artenlisten nach Ellenberg lag in 2015 zwischen 4,5 und 6,9, der größte Teil der Werte in einem engeren Bereich zwischen 5,5 und 6,5, der Gesamtdurchschnitt bei 5,9. Dies repräsentiert einen mäßig bis stickstoffreichen Standort.

Salztoleranz: In der Vorkartierung wird auf eine Anzahl von „Salzpflanzen“ Bezug genommen, die sich aus der Zeit vor der Eindeichung im Gebiet erhalten haben. Die Anzahl dieser Arten ist dem Gutachten nach zwischenzeitlich auf 0 gesunken.

Die Auswertung der Anteile **ökologischer Strategietypen** an den Artenlisten ergibt im Gesamtdurchschnitt ein sehr einheitliches Bild mit 89 % K-Strategen, 4,5 % S-Strategen und 6,5 % R-Strategen. Dies bedeutet, dass der Bestand fast durchgängig von ausdauernden Arten beherrscht wird.

3.3.6 Bodenzoologie

Die vorgefundenen Arten sind mit nur zwei Ausnahmen Schwachbasen- bis Schwachsäurezeiger. Es kommen aktuell zwei Frischezeiger, aber keine Nässezeiger auf der BDF vor. Die meisten Arten haben allerdings keinen Feuchtezeigerwert. Salzzeiger treten nicht mehr auf. Die mittleren Zeigerwerte kennzeichnen den Boden als frischen, schwach sauren Lebensraum für die Bodenlebensgemeinschaft.

Die Artengemeinschaft ist gekennzeichnet durch das Vorkommen mehrerer *Fridericia*- und *Enchytraeus*-Arten sowie eine relativ hohe Dominanz von *Buchholzia appendiculata*. Bei den Regenwürmern dominieren epigäische Arten über endogäische. Die zu Beginn der Untersuchungen zahlreichen schwach salztoleranten Arten der Gattung *Henlea* sind kaum noch vorhanden. Die Zersetzer-gesellschaft befindet sich damit wie schon im Jahr 2006 in einem Übergangszustand zwischen dem *Fridericio-Henleetum* und dem *Fridericio-Lumbricetum*. Für letzteres fehlen im Wesentlichen die anecischen Regenwürmer. Deren Fehlen fällt auch bei der Zuordnung des Bodenlebensgemeinschaftstyps nach BEYLICH et al. 2005 auf. Hinsichtlich der Standortfaktorenkombination wäre der Typ A 1.2.2 (mittel trockenes bis schwach feuchtes Grünland auf schluffig-tonigen Standorten mit Sandanteilen) gegeben. Die dafür zu erwartende mittlere bis sehr hohe Regenwurmbiomasse wird trotz der Abwesenheit von tiefgrabenden Regenwürmern erreicht.

3.4 BDF25 Kudensee/Landscheide



3.4.1 Landschaft

Die BDF25 liegt etwa 8 km nordöstlich von Brunsbüttel, in der Wilstermarsch, einem Teil der Holsteiner Elbmarschen. Die BDF liegt etwa 1,5 m unter dem mittleren Meeresspiegel (NN). Sie befindet sich im Übergangsbereich von der Marsch zur Geest. Die BDF selbst liegt in einer großflächig und tief vermoorten Ebene (Niedermoore, teilweise über Tonen), die mit (ehemaligen) Hochmooren durchsetzt ist. Etwa 500 m südwestlich sind die Niedermoortorfe von Marschsedimenten überlagert. Aus diesen Sedimenten haben sich mehr oder weniger flachgründige Organo-, Knick-, und Kleimarschen entwickelt, die in einer dünnen Schicht über dem Niedermoorkörper auslaufen (Abbildung 3.13). Etwa 700 m nordöstlich der BDF befindet sich eine Mülldeponie, die von der bodenkundlichen Landesaufnahme noch nicht erfasst worden ist.

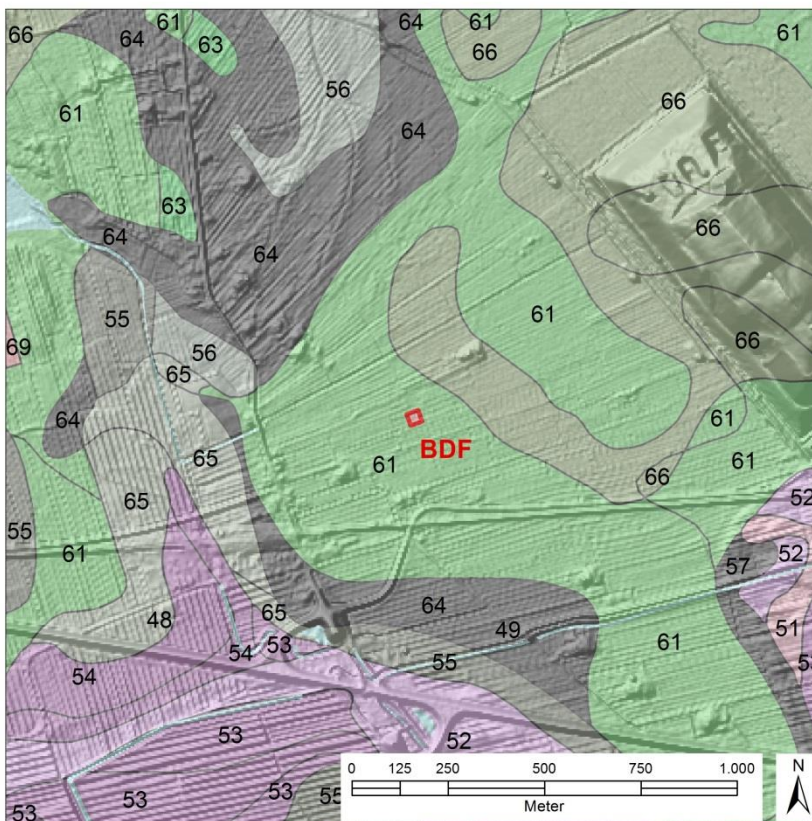


Abbildung 3.13: Bodenformen im Umland der BDF25 (Legende im Anhang)

Überwiegende Nutzung der Marschböden ist nach dem automatischen Liegenschaftskataster (ALK, Stand 2011) der Ackerbau. Die Grünlandwirtschaft hat ihren Schwerpunkt auf den Nieder- und Hochmooren. Einige besonders nasse Gebiete werden extensiv genutzt. Nordöstlich der BDF befindet sich eine Mülldeponie.

3.4.2 Boden und Geologie

Der Boden der BDF besteht aus einem mindestens 2 m mächtigen Niedermoor. Aufgrund Torfabbau und Sackungen ist die Oberfläche unter Meeresspiegelniveau geraten. Der Grundwasserstand steht in einer mittleren Tiefe von etwa 40 cm.

Der oberen Torfschichten sind stark zersetzt bis vererdet. Der mineralische Bestandteil des Oberbodens macht etwa 65 Masse-% aus und besteht aus schwach schluffigem Ton. Das C/N-Verhältnis hat sich auf für Moore untypische $\sim 13/1$ verengt. Die Lagerungsdichte beträgt etwa 1 g/cm^3 , was auf ein sehr großes Substanzvolumen hinweist. C/N-Verhältnis und Substanzvolumen sind ein deutlicher Hinweis auf die intensive Grünlandnutzung. Die pH-Werte (CaCl_2) von 4,9 bewegen sich im mäßig sauren bzw. im Austauscher-Pufferbereich. Der darunter liegende Torf ist weniger stark zersetzt und geht nach und nach in unveränderten Torf und bei 85 cm Tiefe in Mudde über.

Aufgrund seiner Lage unter dem mittleren Meeresspiegelniveau kann die Entwässerung dieses Standortes Schwierigkeiten bereiten. Die effektive Durchwurzelung reicht aufgrund des hoch stehenden Grundwassers nur bis 40 cm (siehe auch Abbildung 3.16). Die Feldkapazität ist aufgrund des sehr speicherfähigen Torfes sehr hoch, nämlich 355 mm, wovon 242 mm pflanzenverfügbar sind.

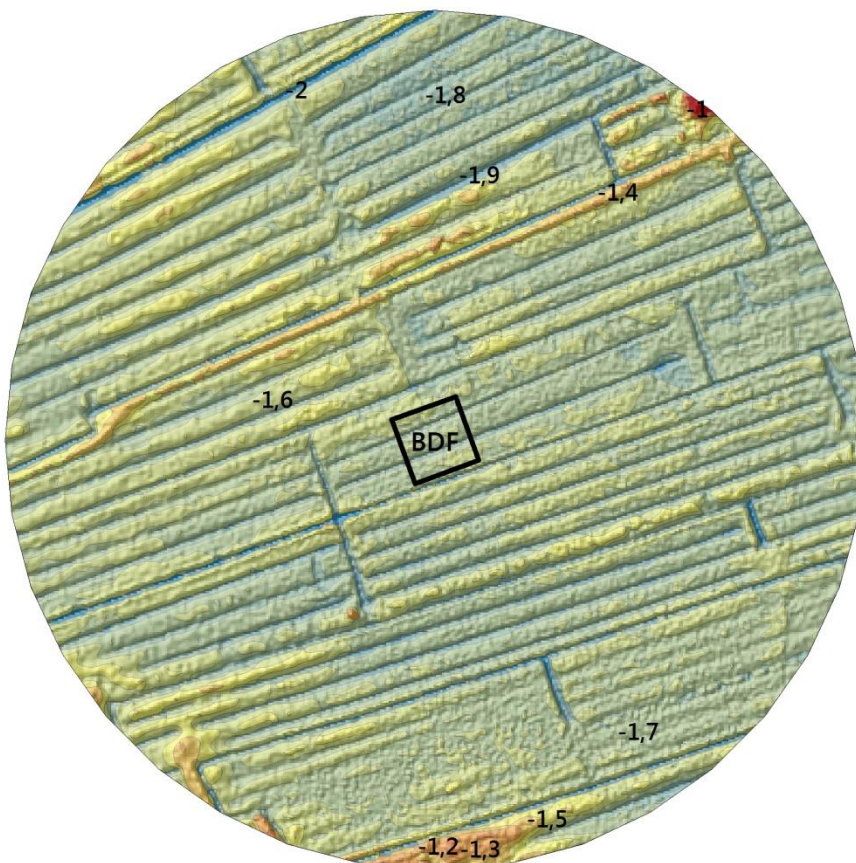


Abbildung 3.14: Relief in der Umgebung der BDF

3.4.3 Klima, Witterung und Wasserhaushalt

Die Jahresdurchschnittstemperatur von 8,2°C entspricht in etwa dem schleswig-holsteinischen Durchschnittswert; die Jahresniederschläge von 814 mm liegen geringfügig darüber (1961-1990).

In den letzten 6 Jahren (2013-2018) war es 1,7 °C wärmer. Die Niederschläge verblieben auf einem vergleichbaren Niveau, schwankten aber beträchtlich von 600 mm in 2018 bis 1000 in 2017. Durch das hoch stehende Grundwasser wurde viel Wasser nachgeliefert, weswegen die bodenkundliche Feuchtestufe in den letzten Jahren überwiegend als stark feucht anzusprechen war (Abbildung 3.15).

Zeitraum	Temperatur (°C)	Niederschlag (mm)	BKF	Gr. wa. (cm Tiefe)
1961-1990	8,2	814		
2013-2018	9,9	821	8,7	34
2018	10,4	595	6,8	52

Tabelle 3.6: Klima/Witterung und Wasserhaushalt zu verschiedenen Zeiträumen, Temperatur in °C im Jahresdurchschnitt, Niederschlag in mm als Jahressumme, bodenkundliche Feuchtestufe (BKF), Grundwasser in cm

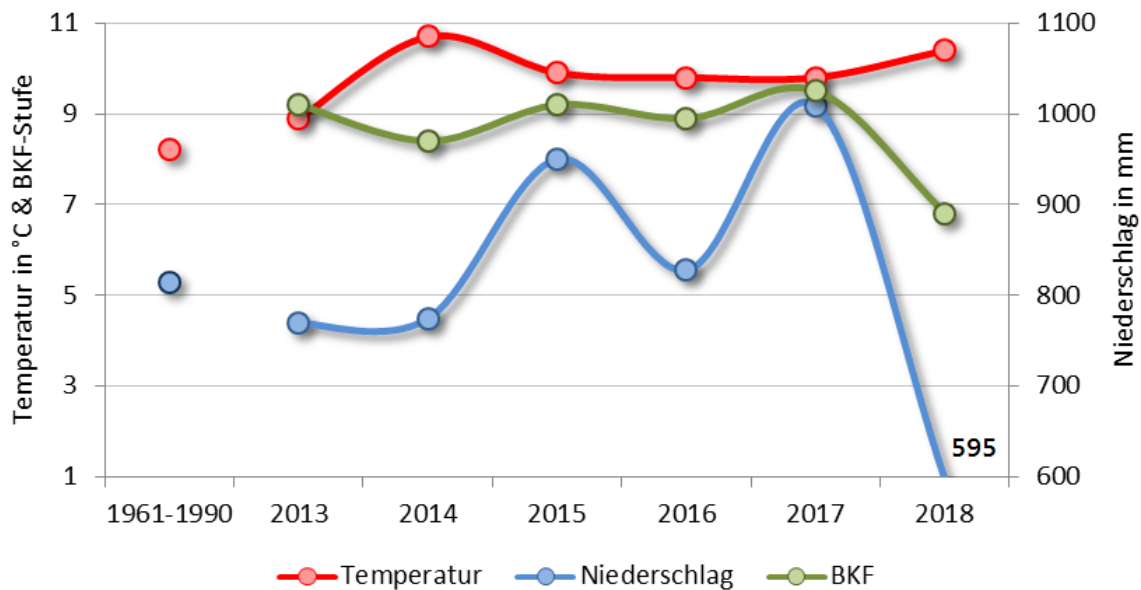


Abbildung 3.15: Temperatur, Niederschlag und bodenkundliche Feuchtestufe an der BDF25

Im Jahr 2018 fielen über 200 mm weniger Niederschläge als in der Periode 2013-2018. Der Grundwasserspiegel sank im Jahresdurchschnitt um 18 cm, in der Vegetationsperiode um etwa 30 cm, sodass in diesem trockenen Sommer wesentlich weniger Wasser aus dem Grundwasser nachgeliefert wurde. Der Standort wurde nur noch als schwach feucht anzusprechen war (BKF7).

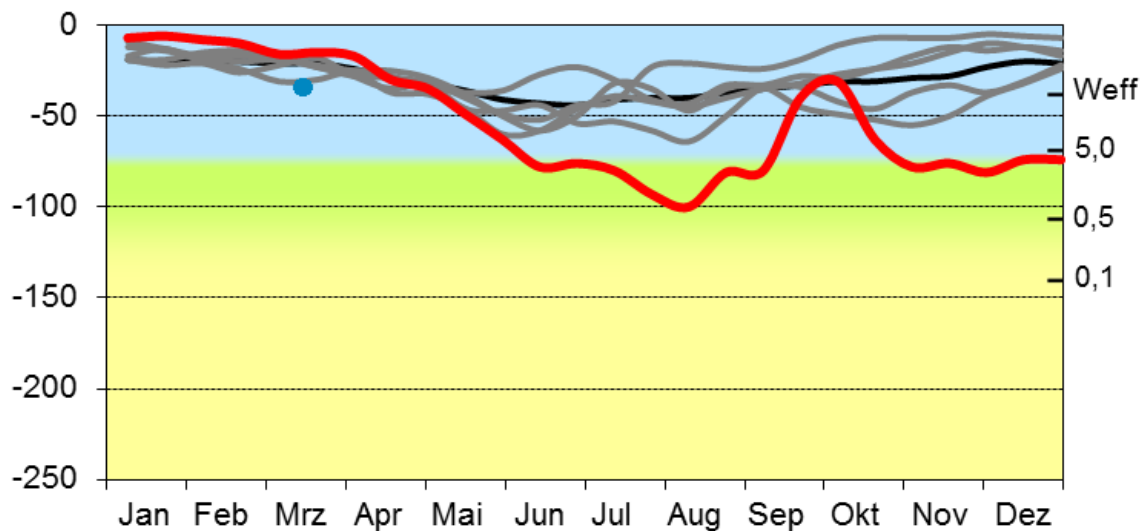


Abbildung 3.16: Grundwasserganglinien für die Jahre 2013 - 2017 (grau), 2018 (rot) sowie 1991-2018 (schwarz), Grundwasserstand zum Zeitpunkt der Probenentnahme (blauer Punkt), linke Skala: Tiefe in cm unter GOF, rechte Skala: Weff = Untergrenze des effektiven Wurzelraumes, Zahlenangaben kapillarer Aufstieg in mm/Tag aus der jeweiligen Tiefe (siehe linke Skala), untere Skala: lfd. Monate des Jahres

3.4.4 Bewirtschaftung

Die BDF wurde bis 2010 überwiegend extensiv als Mähweide genutzt, seit 2011 ausschließlich als extensive Weide mit schwachem Viehbesatz (Jungvieh, ~ 1,2 GVE/ha) und langen Auftriebszeiten (~ 180 Tage/Jahr).

Tabelle 3.7: Anbausysteme und Bewirtschaftungsmaßnahmen zu verschiedenen Zeiträumen

Jahr	Kultur	Besatzdichte (GVE/ha)	Weidedauer (Tage)	Schnitte (Anzahl)	Kultureertrag (dt/ha), * = m ³ /ha	Stickstoff (kgN/ha)	Phosphor (kgP2O5/ha)	Mist (dt/ha)
1991-2018	bis 2010 Mähweide-Weide, seit 2011 nur Weide	5,5	73	0,6	2,0	15	5	4,8
2004-2018	bis 2010 Mähweide-Weide, seit 2011 nur Weide	2,9	118	0,3	2,3			
2013-2018	nur Weide	1,2	181					
2018	Weide	0,7	180					

Jahr	Kultur	Besatzdichte (GVE/ha)	Weidedauer (Tage)	Schnitte (Anzahl)	Kultureertrag (dt/ha), * = m ³ /ha	Stickstoff (kgN/ha)	Phosphor (kgP ₂ O ₅ /ha)	Mist (dt/ha)
1990	Mähweide	19,6	14	2		175	8	20
1991	Mähweide	19,6	14	2		175	8	20
1992	Mähweide	23,0		1		89	5	15
1993	Mähweide	19,6	60	2	10	60	54	30
1994	Mähweide	4,6	60	1		75	63	60
1995	Wiese	keine Daten						
1996	Wiese							
1997	Weide							
1998	Mähweide			1				
1999	Mähweide	24,2		1				
2000	Weide							
2001	Mähweide			1				
2002	Mähweide			1				
2003	Mähweide	18,8	160	1				
2004	Mähweide			1				
2005	Mähweide			1				
2006	Weide	keine Daten						
2007	Weide	3,0						
2008	Mähweide	25,0	160	1	35			
2009	Mähweide	5,5	160	1				
2010	Mähweide			1				
2011	Weide	1,6	180					
2012	Weide	1,6	180					
2013	Weide	1,6	179					
2014	Weide	1,6	179					
2015	Weide	1,6	185					
2016	Weide	0,9	180					
2017	Weide	0,9	180					
2018	Weide	0,7	180					

Tabelle 3.8: Bewirtschaftung seit 1990, jährliche Kennwerte für die BDF25

Die Grasnarbe wird Ende März / Anfang April abgeschleppt und gewalzt. Das Grundwasser sinkt erst im Mai signifikant, so dass das Vieh erst Anfang bis Mitte Mai aufgetrieben wird und dort ein halbes Jahr (180 Tage) verbleibt. In den letzten drei Jahren wurde der Tierbesatz nochmals um ein Drittel reduziert. Über eine Düngung über die Tierausscheidungen während der Beweidung hinaus ist nichts bekannt.

Im Jahr 2018 wurde Mitte März die Weide abgeschleppt und 6 Wochen später Anfang Mai bei 15 cm Bewuchs das Jungvieh aufgetrieben. Es waren 15 Tiere auf 13 ha. Anfang November erfolgte der Abtrieb. Die Weide wurde Anfang März, d. h. 6 Tage vor der Probenentnahme abgeschleppt.

Tabelle 3.9: Bewirtschaftungsmaßnahmen in 2018 und Anfang 2019

Jahr	Zeitraum	Maßnahme	Detail	Wert	Einheit
2018	15.03.	Pflege Grasnarbe	Schleppe	1	Arbeitsgang
	01.05. 28.10.	Beweidung	Jungvieh	0,7	GVE/ha
2019	05.03.	Pflege Grasnarbe	Schleppe	1	Arbeitsgang
	11.03.	Probenentnahme zur bodenmikrobiologischen Untersuchung			

3.4.5 Vegetationskunde

In 2015 wurden die BDF und ihr Umland pflanzensoziologisch aufgenommen.

Die Grünlandflächen im Untersuchungsgebiet sind innerhalb der BDF aber auch großräumig in der Nachbarschaft pflanzensoziologisch dem beweideten Wirtschaftsgrünland des *Lolium Cynosure-tums* (Weidelgras-Weißklee-Weiden) zuzuordnen. Charakterarten hierfür sind *Lolium perenne* (Ausdauerndes Weidelgras) und *Phleum pratense* (Wiesen-Lieschgras). Die Vegetation ist flächig von Flutrasen-Anteilen - Knick-Fuchsschwanz-Rasen - *Ranunculo repentis-Alopecuretum geniculati*, gekennzeichnet durch die Charakterarten *Alopecurus geniculatus* (Knick-Fuchsschwanz) und *Agrostis stolonifera* (Ausläufer-Straußgras) - durchsetzt oder geht zum Teil vollständig in diese über.

Das Grabensystem im Gebiet wird aufgrund der stattfindenden Beweidung häufig unterhalten und instandgesetzt, durch die Beweidung aber auch wiederholt zugetreten, so dass eine große Störungsintensität vorhanden ist, die keine eindeutige pflanzensoziologische Zuordnung erlaubt. Lediglich sehr kleinräumig finden sich an den Gräben in weniger gestörten Bereichen Vorkommen von Wiesen-Segge. Diese ist Charakterart der Kleinseggenrieder, sowohl auf Klassen-, Ordnungs- und Verbandsebene als auch auf der Ebene der Assoziation des Wiesenseggen- oder Braunseggensumpfes, des *Caricetum nigrae*. Diese und wenige Begleitarten kennzeichnen die Standortbedingungen auf den ursprünglich weniger vererdeten und dauerhaft durchnässten Niedermoortorfen.

Bis 2005 wurden gemäß Schlagkartei regelmäßig Gräser und dabei vermutlich zu sehr hohen Anteilen Weidelgras im Rahmen von Nachsaaten eingebracht.

Bleiben also die möglicherweise eingesäten und wiederholt künstlich erneuerten Vorkommen von Arten des Wirtschaftsgrünlandes unberücksichtigt, so zeigt die vorgefundene Vegetation feuchtere, saurere und nährstoffärmere Standorte an. Damit nähern sich die Zeigerwerte den chemisch gemessenen an.

Das Ausgangssubstrat der Vegetationsentwicklung ist hier ein tief entwässertes Niedermoor. Der Standort ist anhand der Vegetation kaum nachvollziehbar. Die vorherrschende Vegetation der Weidelgras-Weißklee-Weiden kann auch auf mineralischen Standorten gefunden werden, ist aber Ausdruck verhältnismäßig hoher Nährstoffgehalte, wie sie auf entwässerten Niedermoorböden infolge der Torfzersetzung auftreten. Darüber hinaus zeigt der Anteil von Flutrasenarten in der Vegetation einen zumindest zeitweilig feuchten bis wasserüberstauten Standort an. Dies dürfte im Gebiet nicht unbedingt durch hohe Grundwasserstände verursacht werden, sondern kann auch eine Folge der Bodenverdichtung oder -verschlammung sein wie sie bei vererdeten Niedermoorhorten auftritt.



Abbildung 3.17: Blick auf die BDF während der Probenentnahme vom 07.03.2013

3.4.6 Bodenzoologie

1992, 2002, 2008 und 2015 wurden bodenzoologische Untersuchungen durchgeführt. Das Fehlen anecischer Regenwürmer und das Vorkommen verschiedener Charakterarten kennzeichnen den Zersetzergesellschaftstyp auf Verbandsebene als Eiseniellion. Auf Assoziationsebene lässt sich der Typ wegen des Auftretens der Charakterart *Octolasion tyrtaeum* dem Octolasietum tyrtaei zuordnen. Der Bodenlebensgemeinschaftstyp nach BEYLICH et al. (2005) wird für diesen Standort über die Bodenkundliche Feuchtestufe und den pH-Wert sowie auch hier durch die bereits genannten Charakteristika des Artenspektrums definiert. Es liegt hier der Typ A 2.2 vor.

Im Untersuchungsjahr 2015 wies die BDF bezüglich Abundanz und Biomasse der Regenwürmer im Vergleich mit den Referenzwerten extrem hohe Werte auf. Darüber hinaus sind auch die Artenzahlen beider Tiergruppen außergewöhnlich hoch. Die Gesamtabundanz der Kleinringelwürmer liegt dagegen im durchschnittlichen Bereich.

Wie für einen Niedermoorstandort mit hoch anstehendem Grundwasser zu erwarten, fehlen anecische Regenwürmer, während epigäische Arten eine größere Rolle spielen. Es kommt eine Reihe Nässezeiger vor, während Frischezeiger weniger häufig sind. Die mittlere Feuchtezahl liegt dadurch bei 7,5. Die Mehrheit der Arten gehört außerdem den Schwachsäurezeigern an, so dass die mittlere Reaktionszahl über 6 liegt. Die r-Strategen sind überwiegend durch die Art *Buchholzia appendiculata* vertreten, die einen Verbreitungsschwerpunkt in organischen Horizonten mit intensivem Stoffumsatz hat.

3.5 BDF33 Hellbachtal



3.5.1 Landschaft

Die BDF33 liegt etwa 7 km südlich von Mölln, in der Südmecklenburger Niederung, einem Teil der Ratzeburger Seenplatte.

Die BDF liegt etwa 16 m über dem mittleren Meeresspiegel (NN). Sie liegt in einem tief eingeschnittenen und langgezogenen Tal, das eine etwa 25 m höhere, flachwellige Jungmoränenlandschaft durchschneidet. Die BDF selbst liegt in einer tief vermoorten Talsohle (mächtige Niedermoores (61)). An den steilen Hängen geht das Niedermoor in schmale Säume aus Gleyen aus Geschiebedecksanden über Geschiebesanden (34) über. Nur in Seitentälern und ehemaligen Toteislöchern sind diese etwas großflächiger mit flachgründigeren Niedermoores (62), teilweise abgetorft, über Sanden vergesellschaftet. An den Hängen selbst und auf der höher gelegenen flachwelligen Ebene haben sich

Braunerden aus Geschiebedecksanden über Geschiebesanden (4) gebildet. In den Senken der Ebene haben sich Gleye sowie mehr oder weniger mächtige Niedermoores gebildet. An einigen Hängen sind durch Wassererosion Kolluvisole (27) entstanden.

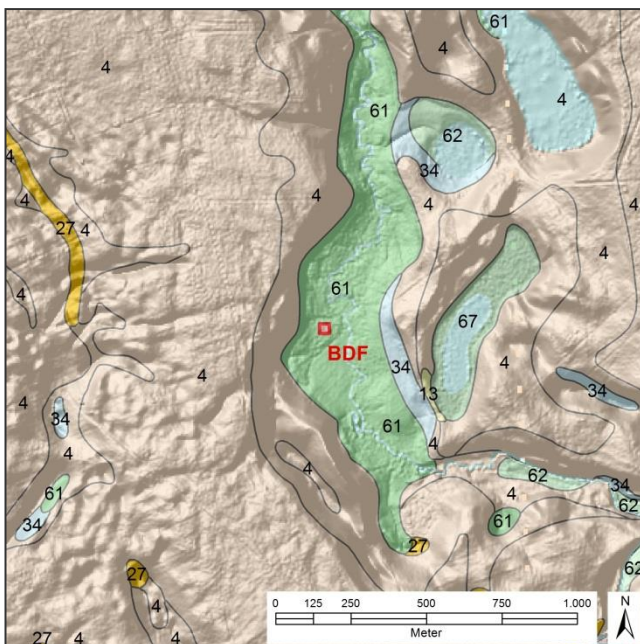


Abbildung 3.18: Bodenformen im Umland der BDF33 (Legende im Anhang)

Die Talsohle wird nach dem automatischen Liegenschaftskataster (ALK, Stand 2011) überwiegend als Grünland genutzt. Dieses wird aufgrund der starken Vernässung der Niedermoores oft extensiv genutzt. An einigen Stellen hat sich ein Pionierwald aus Erlen gebildet. Die Hänge und die Hochfläche werden als Laub-, Misch- und Nadelwald genutzt.

3.5.2 Boden und Geologie

Der Boden der BDF besteht aus einem mindestens 2 m mächtigen, teilweise vererdeten Niedermoor (siehe Abbildung 3.19). Der Grundwasserstand steht in einer mittleren Tiefe von nur etwa 30 cm.

Der oberen Torfschichten sind stark zersetzt und vererdet. Der mineralische Bestandteil des Oberbodens macht gut 80 Masse-% aus und besteht aus schwach tonigem Sand. Das Substrat wäre eigentlich nicht mehr als organisch, sondern als extrem humos und mineralisch anzusprechen. Das C/N-Verhältnis hat sich auf für Moore untypische $\sim 11/1$ verengt. Die Lagerungsdichte ist bei einer Trockenrohdichte von $0,6 \text{ g/cm}^3$ sehr gering, was auf ein großes Substanzvolumen hinweist. C/N-Verhältnis und Substanzvolumen sind ein deutlicher Hinweis auf eine ehemalige intensive Grünlandnutzung. Die pH-Werte (CaCl_2) von 5,2 bewegen sich im mäßig sauren bzw. im Silikat-Pufferbereich. Der darunter liegende Torf ist weniger stark zersetzt und entspricht mehr den ursprünglichen Verhältnissen, d. h. er ist anthropogen weniger beeinflusst.



Aufgrund seiner Lage nahe der Talsohle und zeitweise Überflutung durch die Aue bereitet die Entwässerung dieses Standortes Schwierigkeiten. Die effektive Durchwurzelung reicht aufgrund des hoch stehenden Grundwassers nur bis 47 cm. Die Feldkapazität ist aufgrund des sehr speicherfähigen Torfes sehr hoch, nämlich 303 mm, wovon 208 mm pflanzenverfügbar sind.

Abbildung 3.19: teilweise vererdetes, mächtiges Niedermoor aus Niedermoortorf (Leitprofil)

3.5.3 Klima, Witterung und Wasserhaushalt

Die Jahresdurchschnittstemperatur von $8,3^\circ\text{C}$ entspricht in etwa dem schleswig-holsteinischen Durchschnittswert; die Jahresniederschläge von 692 mm liegen um 90 mm darunter. Letztere weisen auf den beginnenden Regenschatten im Osten des Landes hin.

Zeitraum	Temperatur ($^\circ\text{C}$)	Niederschlag (mm)	BKF	Grüwa. (cm Tiefe)
1961-1990	8,3	692		
2013-2018	9,8	681	7,8	13
2018	10,3	485	6,8	12

Tabelle 3.10: Klima/Witterung und Wasserhaushalt zu verschiedenen Zeiträumen, Temperatur in $^\circ\text{C}$ im Jahresdurchschnitt, Niederschlag in mm als Jahressumme, bodenkundliche Feuchtestufe (BKF), Grundwasser in cm

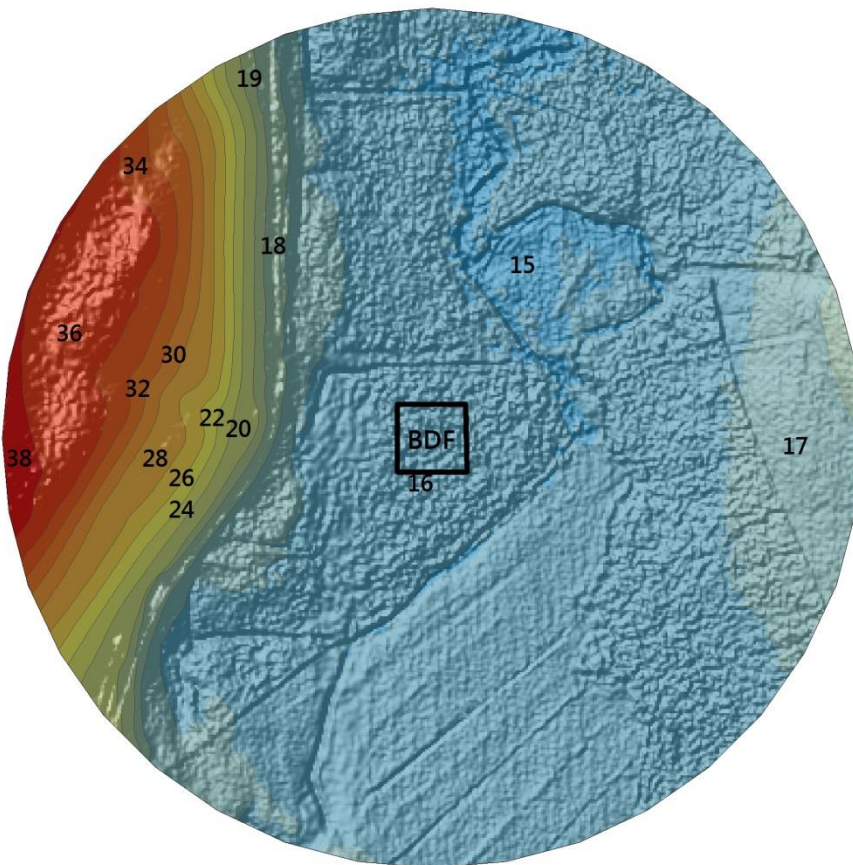


Abbildung 3.20: Relief in der Umgebung der BDF

Im Durchschnitt der letzten sechs Jahre (2013-2018) war es $1,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ wärmer als Schnitt der Jahre 1961-1990. Die Niederschläge waren in beiden Zeiträumen vergleichbar. Der Grundwasserstand war mit einem Schnitt von 13 cm unter GOF sehr hoch. Durch die sehr hohe Wassernachlieferung aus dem Grundwasser war der Standort stets als mittel feucht anzusprechen.

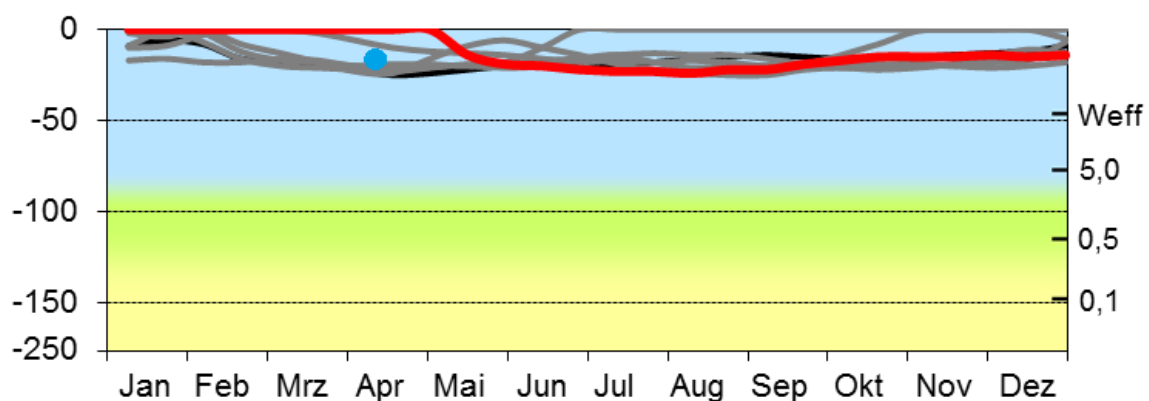


Abbildung 3.21: Grundwasserganglinien für die Jahre 2013 - 2017 (grau), 2018 (rot) sowie 1991-2018 (schwarz), Grundwasserstand zum Zeitpunkt der Probenentnahme (blauer Punkt), linke Skala: Tiefe in cm unter GOF, rechte Skala: Weff = Untergrenze des effektiven Wurzelraumes, Zahlenangaben kapillarer Aufstieg in mm/Tag aus der jeweiligen Tiefe (siehe linke Skala), untere Skala: lfd. Monate des Jahres

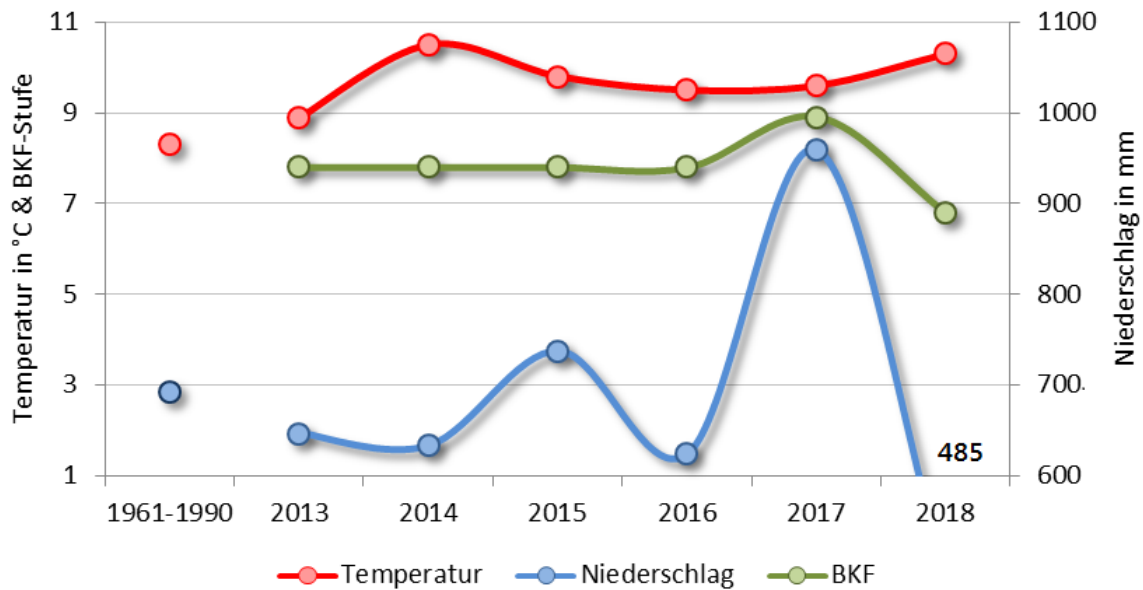


Abbildung 3.22: Temperatur, Niederschlag und bodenkundliche Feuchtestufe an der BDF33

Im sehr warmen Jahr 2018 herrschte bei einem Jahresniederschlag von nur 485 mm eine Dürre. Trotzdem sank das Grundwasser nicht, wodurch der Standort sehr gut mit Wasser versorgt und der Standort als schwach feucht anzusprechen war.

3.5.4 Bewirtschaftung

Die BDF wurde seit 1991 mit 4 Jahren Unterbrechung (2003-06) extensiv als Weide genutzt. Die Auftriebsdauer betrug bis 2013 einen knappen Monat, seitdem 5 Monate. Die Zahl der Tiere schwankte zwischen 2 und 12 (0,2-1,2 GVE/ha). Bis 2001 wurden Weiderückstände im Spätsommer mit einem sogenannten Wiesenputzer gemäht. Von 2003 bis 2006 lag die Fläche brach. Von 2007 bis 2013 wurde sie wieder sehr extensiv von 5 Tieren für 3 Wochen im Jahr beweidet. Danach wurden die Binsen und Brennesseln mit einem Mulcher zurückgedrängt und die Fläche so für eine längere Beweidung über 5 Monate hergerichtet.



Abbildung 3.23: Blick auf die BDF während der Probenentnahme vom 04.04.2013

Tabelle 3.11: Anbausysteme und Bewirtschaftungsmaßnahmen zu verschiedenen Zeiträumen

Jahr	Kultur	Besatzdichte (GVE/ha)	Weidedauer (Tage)	Schnitte (Anzahl)	Kultureertrag (dt/ha), * = m ³ /ha	Stickstoff (kg N/ha)	Narben-Pflegemaßnahmen (Anzahl)
1991-2018	extensive Weide mit 4 Jahren Brache (2003-06)	0,5	32	0,6	0	13	0,3
2004-2018	3 Jahre Brache, seitdem extensive Weide	0,4	57	0,3	0	0	0,1
2013-2018	extensive Weide	0,5	130	0,0	0	0	0,3
2018	extensive Weide	0,5	152				

In 2018 fand nur eine Beweidung mit 5 Jungtieren für 5 Monate statt. Keine Düngung, keine Pflegemaßnahmen auch vor der Probenentnahme in 2019.

3.5.5 Vegetationskunde

Im Bereich der BDF, wie auch in fast allen genutzten Grünlandflächen im Umfeld hat sich ein kleinräumig verzahntes Mosaik aus den folgenden Pflanzengesellschaften entwickelt, das sich mit den Jahren verschieben kann:

- Schlankseggenried (*Caricetum gracilis*) als standorttypische Folgevegetation der Grünlandtypen bei extensiver Nutzung und ausbleibender Düngung sowie dauerhaft hohen Grundwasserständen; zugehörige Charakterart ist die Schlanksegge
- Weidelgras-Weißklee-Weiden (*Cynosurion cristati*), teils infolge der regelmäßig stattfindenden Beweidung, größtenteils aber vermutlich aufgrund von einer zeitweiligen Intensivnutzung mit Einsaat und Düngung, wegen der hohen Grundwasserstände wenig standortgerecht und wenig konkurrenzstark, aufgrund der ausbleibenden Düngung offenbar rückläufig; Charakterarten sind Weidelgras, Weißklee und Gänseblümchen
- Knickfuchschwanzrasen (*Ranunculo repentis-Alopecuretum geniculati*), als Anzeiger der feuchten Standortverhältnisse bei gleichzeitig teils intensiver Nutzung bzw. Störung der Standortorte somit als Ersatzgesellschaften der Niedermoor- und Feuchtwiesenvegetation; Charakterarten sind hier die namensgebenden Arten Knick-Fuchsschwanz und Kriechender Hahnenfuß;
- Feuchtwiesen (*Molinietalia caeruleae*); die eigentliche Feuchtwiesenvegetation ist nur als Relikt in Form weniger Zeigearten innerhalb der BDF-Fläche ausgeprägt, weil offenbar seit langem keine Mähwiesennutzung stattgefunden hat bzw. diese nicht prägend für die Vegetation ist.

Jahr	Kultur	Besatzdichte (GVE/ha)	Weidedauer (Tage)	Stickstoff (kgN/ha)	Narben-Pflegemaßnahmen (Anzahl)
1990	Weide				
1991	Weide				
1992	Weide				
1993	Weide	0,3		49	
1994	Weide	0,3		43	
1995	Weide	0,2		59	1
1996	Weide	0,2		49	1
1997	Weide	0,5		49	1
1998	Weide	0,5		49	1
1999	Weide	1,0		24	1
2000	Weide	1,0		24	1
2001	Weide	1,5	27		1
2002	Weide	1,8	24		
2003	Grünlandbrache				
2004	Grünlandbrache				
2005	Grünlandbrache				
2006	Grünlandbrache				
2007	Weide	0,5	14		
2008	Weide	0,5	20		
2009	Weide	0,5			
2010	Weide	0,5			
2011	Weide	0,5	20		
2012	Weide	0,5	20		
2013	Weide	0,5	20		
2014	Weide	0,5	152		1
2015	Weide	0,5	152		1
2016	Weide	0,5	152		
2017	Weide	0,5	152		
2018	Weide	0,5	152		

Tabelle 3.12: Bewirtschaftung seit 1990, jährliche Kennwerte für die BDF33, soweit vorhanden

Das Störungsniveau in den Flächen verhältnismäßig hoch, da diese regelmäßig von Wildschweinrotten aufgesucht und zum Teil in erheblichem Umfang durchwühlt werden. Die entstehenden Kahlstellen werden offenbar regelmäßig von Flutrasen aus Knick-Fuchsschwanz und Kriechendem Hahnenfuß überwachsen.

3.5.6 Bodenzöologie

Trotz der kaum nennenswerten Besiedlung mit Regenwürmern kommt die Charakterart des Zersetzer-gesellschaftstyps *Octolasiotum tyrtaei* vor, neben weiteren Charakterarten unter den Kleinringelwürmern, die den Typ auf höherer hierarchischer Ebene kennzeichnen (*Cognettia glandulosa*, *Marionina argentea*). Auch das Fehlen anecischer Regenwürmer ist typisch für diesen stark grundwasserbeeinflussten Standort, wenngleich dieser Umstand beim Fehlen fast jeglicher Regenwurmbesiedlung wenig Aussagekraft hat.

Der Bodenlebensgemeinschaftstyp nach BEYLICH et al. (2005) wird für diesen Standort über die Bodenkundliche Feuchtestufe und den pH-Wert als A 1.3 definiert. Dies erscheint hinsichtlich der niedrigen Grundwasserflurabstände nicht plausibel, zumal für den Typ A 1.3 das Vorkommen anecischer Regenwürmer typisch wäre, die bei den hier auftretenden Grundwasserständen sicher nicht zu erwarten sind. Der Lebensgemeinschaftstyp ist daher als A 2.1 zu bezeichnen.

Die BDF33 liegt hinsichtlich des pH-Wertes nahe der Grenze zwischen Typ A 2.1 und A 2.2. Damit in Einklang steht, dass in den ersten drei Untersuchungen die Charakterarten beider Lebensgemeinschaftstypen vorkamen (*Eiseniella tetraedra* und *Octolasion tyrtaeum*). Erwartungswerte für die Regenwurmbiomasse werden für beide Gemeinschaftstypen nicht angegeben.

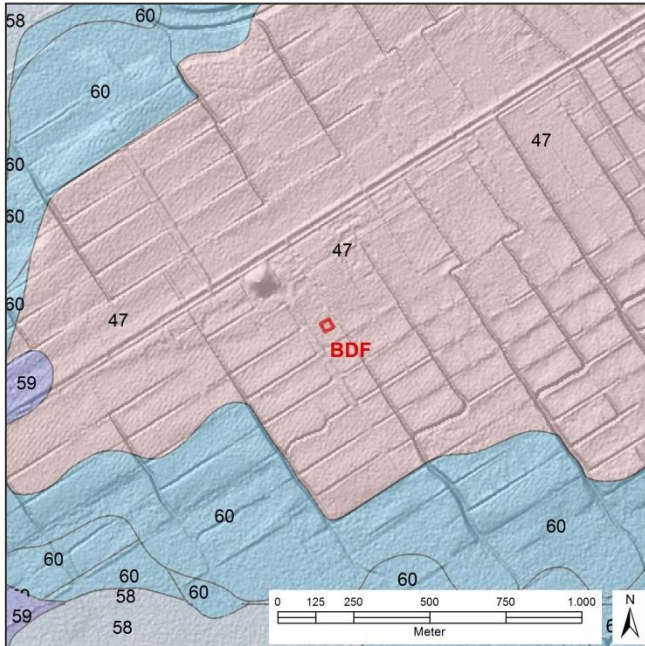
Der Zusammenbruch der Regenwurmpopulation 2015 hat - wenig erstaunlich - signifikant niedrigere Artenzahlen, Abundanz- und -biomassewerte als in den Vorjahren zur Folge. Die Regenwurmbiomasse, ebenso wie die Artenzahl je Probe, war allerdings auch 2006 schon signifikant gegenüber der Erstuntersuchung verringert. Die zunehmende Dominanz der Nässezeiger unter den Regenwürmern deutet auf eine zunehmende Vernässung der Fläche und daher längeren Phasen mit Sauerstoffdefizit im Oberboden hin. Dieses Ergebnis steht in Einklang mit den steigenden Grundwasserflurabständen. Im Sommer 2015 hat vermutlich eine ungünstige Faktorenkombination dazu beigetragen, dass auch die Populationen der nassetoleranten Arten komplett zusammengebrochen sind.

Die Kleinringelwürmer zeigen ein anderes Verhalten als die Regenwürmer: Ihre Gesamtabundanz erreichte 2006 den höchsten Wert und lag 2015 im Bereich der vorhergehenden Untersuchungen. Allerdings zeigten sich auch bei dieser Tiergruppe bereits 2006 Besonderheiten hinsichtlich des Artenspektrums. Erstens war die Gesamtartenzahl höher als zuvor und zudem die Artenzahl je Probe signifikant höher als 1999. Zweitens kam es zu einem gehäuften Auftreten von *Pristina jenkinsae*, einer Art, die auch aus tropischen Böden und Fließgewässern bekannt ist. Dies könnte mit einer Zunahme hoher Grundwasserstände insbesondere auch im Sommerhalbjahr bei vergleichsweise hohen Temperaturen in Verbindung stehen. Diese Art wurde allerdings 2015 nur noch vereinzelt nachgewiesen.

3.6 BDF37 Hamburger Hallig



3.6.1 Landschaft



Die BDF37 liegt etwa 8 km westlich von Bredstedt im Vorland der nordfriesischen Marsch. Die BDF liegt zwischen Außendeich und Watt in einer Salzwiese, die auf knapp 2 m über NN aufgeschlickt wurde. Hier haben sich Rohmarschen aus marinen Sediment aus Schluff über Sand gebildet. Das Gelände ist fast eben. In 6-700 m Entfernung fällt es in einem Streifen von 150-200 m um 120 cm ab und geht in ein Schlickwatt sowie später in ein Sandwatt über (Abbildung 3.3).

Abbildung 3.24: Bodenformen im Umland der BDF33 (Legende im Anhang)

Weite Gebiete des Vorlandes sind dem Naturschutz überantwortet worden. Auf näher zum

Deich gelegenen Vorland findet extensive Schafweide statt, die auf dem Deich intensiver betrieben wird. Hinter dem Deich wird nach dem automatischen Liegenschaftskataster (ALK, Stand 2011) intensiver Ackerbau betrieben. Grünlandwirtschaft ist hier die Ausnahme.

3.6.2 Boden und Geologie

In einer schwach geneigten Ebene bildet holozäner mariner Schluff bis Ton über holozänem marinem Sand das Ausgangsgestein für eine Rohmarsch (Abbildung 3.25).

Abbildung 3.25: Rohmarsch aus überwiegend schluffig-tonigen, holozänen, marinen Sedimenten (Leitprofil)

Der stark humose, 10 cm mächtige Oberboden besteht aus schwach schluffigem Ton. Es ist ein deutlicher Grundwassereinfluss erkennbar. Seine effektive Lagerungsdichte ist sehr gering. Die pH-Werte (CaCl_2) von 7,2 bewegen sich im sehr schwach alkalischen bzw. im Carbonat-Pufferbereich, in dem freier Kalk festgestellt worden ist. Die Humusform ist Mull. Sein enges C/N-Verhältnis von 10-11/1 ist typisch für Rohmarschen mit natürlicher Vegetation.



Von 10 bis 53 cm Tiefe überwiegen mittel humose, tonige Sedimente (Tu2-Tu3), die unter sehr starkem, langandauernden Grundwassereinfluss stehen. Von 53 bis 187 cm Tiefe überwiegen schwach bis mittel humose, schluffige Sedimente (Ut3-Lu), die ständig mit Grundwasser erfüllt sind und die ab 187 cm Tiefe in sandige Sedimente (fS-Sl2) übergehen.

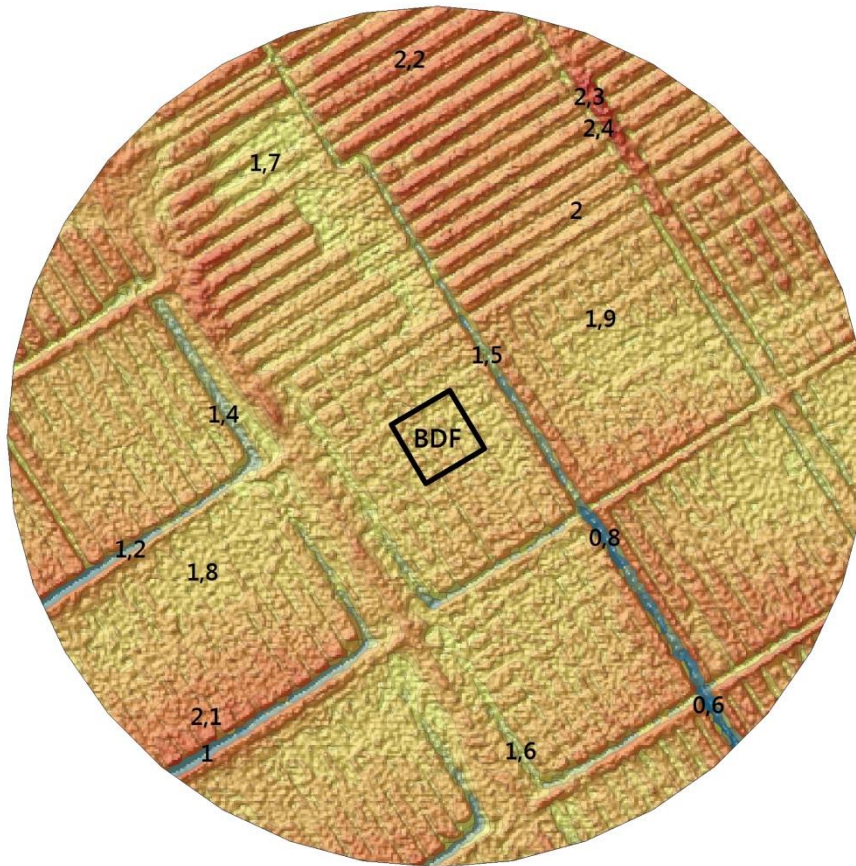


Abbildung 3.26: Relief in der Umgebung der BDF

3.6.3 Klima, Witterung und Wasserhaushalt

Die Jahresdurchschnittstemperatur von 8,1°C entspricht in etwa dem schleswig-holsteinischen Durchschnittswert; die Jahresniederschläge von 747 mm liegen darunter, was für Küstengebiete an der Nordsee typisch ist (Abbildung 3.28).

Der Standort liegt in einer sehr schwach geneigten Ebene. Der Höhenunterschied beträgt auf 1 km etwa 2 m. Die effektive Durchwurzelung reicht theoretisch bis 100

cm. Von der Feldkapazität in diesem Raum von 505 mm sind 226 mm pflanzenverfügbar. Praktisch ist das Wasserhaltevermögen von geringer Bedeutung, da das Grundwasser in 30-40 cm Tiefe ansteht (siehe Abbildung 3.27).

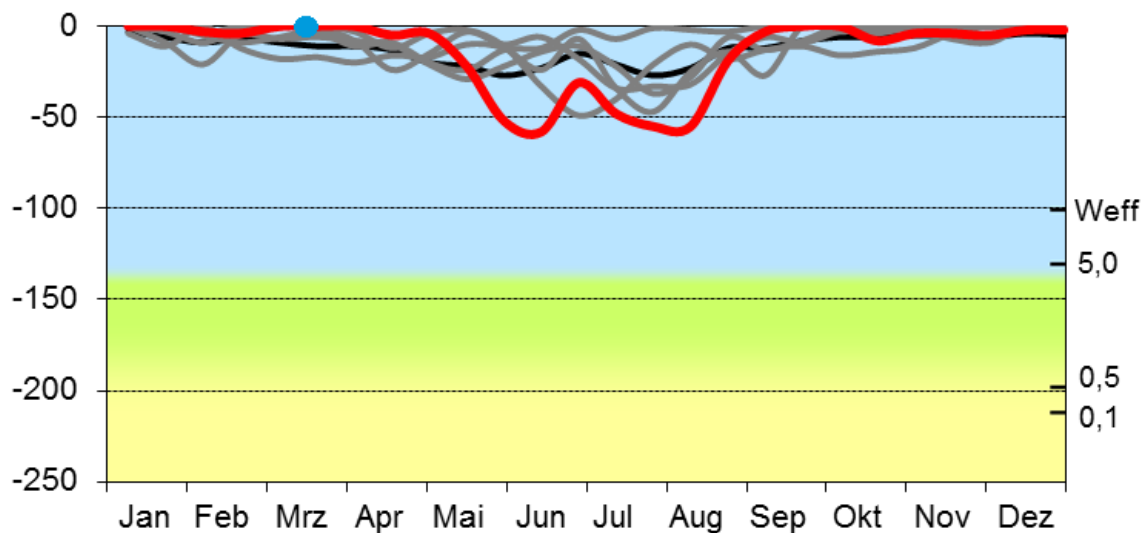


Abbildung 3.27: Grundwasserganglinien für die Jahre 2013 - 2017 (grau), 2018 (rot) sowie 1991-2018 (schwarz), Grundwasserstand zum Zeitpunkt der Probenentnahme (blauer Punkt), linke Skala: Tiefe in cm unter GOF, rechte Skala: Weff = Untergrenze des effektiven Wurzelraumes, Zahlenangaben kapillarer Aufstieg in mm/Tag aus der jeweiligen Tiefe (siehe linke Skala), untere Skala: lfd. Monate des Jahres

Zeitraum	Temperatur (°C)	Niederschlag (mm)	BKF	Grundwasser (cm Tiefe)
1961-1990	8,1	747		
2013-2018	9,7	844	9,4	13
2018	10,1	658	7,7	15

Tabelle 3.13: Klima/Witterung und Wasserhaushalt zu verschiedenen Zeiträumen, Temperatur in °C im Jahresdurchschnitt, Niederschlag in mm als Jahressumme, bodenkundliche Feuchtestufe (BKF), Grundwasser in cm

Im Durchschnitt der letzten sechs Jahre (2013-2018) war es 1,6 °C wärmer als Schnitt der Jahre 1961-1990. Die Niederschläge nahmen etwa um 10% zu. Der Grundwasserstand war mit einem Schnitt von 13 cm unter GOF sehr hoch. Durch die sehr hohe Wassernachlieferung aus dem Grundwasser war der Standort stets als stark feucht bis nass anzusprechen.

Im sehr warmen Jahr 2018 (10,1 °C) war der Standort bei einem Jahresniederschlag von nur 658 mm wesentlich trockener, d. h. als mittelfeucht anzusprechen als im Schnitt der Jahre 2013-2018. Trotzdem sank das Grundwasser nicht wesentlich, wodurch der Standort sehr gut mit Wasser versorgt und der Standort als schwach feucht anzusprechen war.

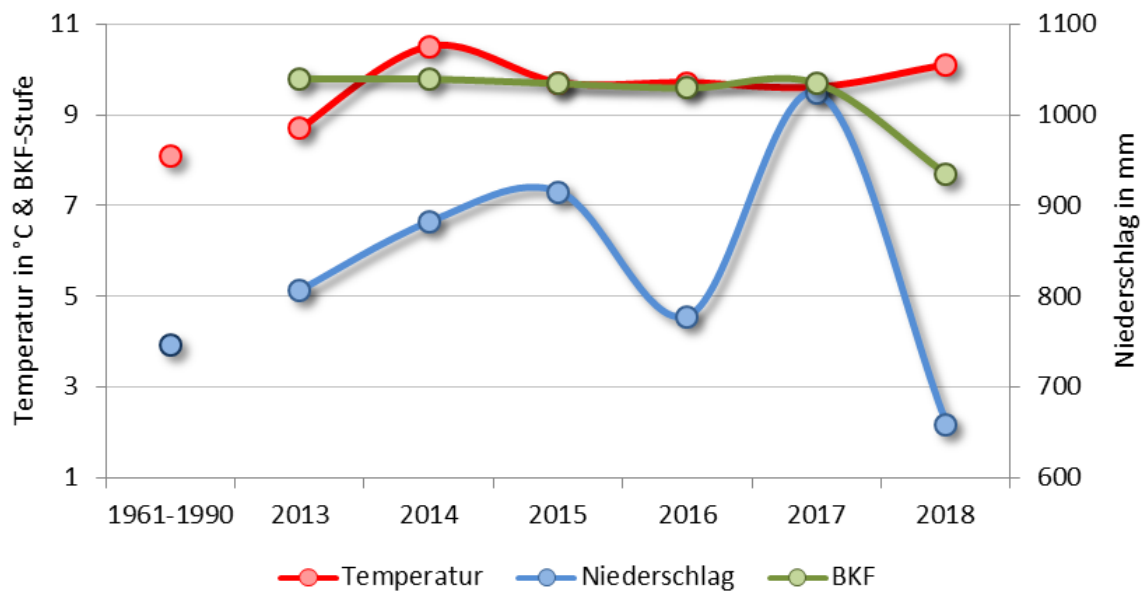


Abbildung 3.28: Temperatur, Niederschlag und bodenkundliche Feuchtestufe an der BDF37

3.6.4 Bewirtschaftung

Die BDF liegt in einer Salzwiese, die eigentlich dem Naturschutz überlassen wurde, aber gelegentlich von Schafen besucht wird.



Abbildung 3.29: Blick auf die BDF während der Probenentnahme vom 08.04.2013

3.6.5 Vegetationskunde

Die Feuchtezahlen der Pflanzen auf der BDF liegen zwischen 6 und etwas über 8, das heißt sie zeigen frische bis feuchte bzw. feuchte bis nasse Standorte an. Erwartungsgemäß stimmen diese Werte mit denen Pflanzengesellschaften über ein: die Gesellschaften der unteren Salzwiese aus Quelle und

Schlickgras zeigen die höchsten F-Werte an. Die relativ trockensten Standorte liegen im Bereich der oberen Teile der mittleren Salzwiese, die zu unterschiedlichen Anteilen von Andel bestimmt wird. Die trockeneren Standorte zeigen dabei Vorkommen von Rotschwingel und Strand-Beifuß an. Diese Bereiche liegen erkennbar im Gelände auch um 5-10 cm höher, sind in der Regel nicht dauerhaft wasserüberstaut und weisen zudem oft ein durchlässiges, sandiges Substrat auf.

Entsprechend den Salzgehalten liegen die Zeigerwerte für die Bodenreaktion (R-Werte nach Ellenberg) um 7 oder sogar darüber, es werden also neutrale bis schwach alkalische Standorte angezeigt. Hier liegen die tendenziell niedrigsten Werte mit 7,1 wiederum im Bereich der Vorkommen von Strand-Beifuß auf sandigen Untergrund.

Bei der Nährstoffversorgung (N-Wert nach ELLENBERG) ist demgegenüber ein deutlicher Gradient erkennbar. Hier sind einerseits die ausgesprochen nassen Standorte im Bereich der Schlickgras vorkommen, trotz der prinzipiell nährstoffreichen Sedimentfracht, physiologisch offenbar nur mäßig nährstoffreich. Die mittlere Salzwiese weist demgegenüber oft Werte um 6,5 auf. In den höher gelegenen Geländeteilen mit Vorkommen von Strand Beifuß sinkt der Wert wieder auf 5,5. Während die niedrigeren Nährstoffgehalte bei sandigem Substrat zu erwarten sind, erklären sich die geringen Werte in den Schlickgraswiesen vermutlich mit einer geringeren Verfügbarkeit der Nährstoffe wegen der unvollständigen Zersetzung der organischen Substanz unter sauerstoffarmen Bedingungen im dauerhaft wassergesättigten Boden.

Bei einer in 2015 durchgeführten pflanzensoziologischen Aufnahme im Wesentlichen von vier verschiedenen Pflanzengesellschaften ausgeschieden:

Spartinetum anglicae (Salzschlickgras-Wiese)

Pflanzensoziologisch bilden die Schlickgraswiesen eine eigene Klasse (Spartinetea), mit einer Ordnung (Spartinetalia), einem Verband (Spartinion) und darin nur dieser einen Assoziation mit der Kennart *Spartina anglica*. Das Schlickgras ist eine Art der unteren Salzwiesen auf Schlickböden. Es wächst gewöhnlich bis 30 cm unter-MThw und bildet bis 50 cm hohe Dichte artenarme Bestände.

Halimionetum (Atriplecetum) portulacoidis (Keilmelden-Wiese)

Die Salzwiesen auf mittlerem Höhenniveau werden noch häufig aber nicht täglich von den Hochwässern der Nordsee erreicht. Eine vollständige Aussüßung erfolgt hier nicht. Charakterarten des Verbandes der Andel-Rasen (*Puccinellion maritimae*) und im Gebiet mit hoher Stetigkeit vertreten sind *Puccinellia maritima* (Andel), *Atriplex portulacoides* (Portulak-Keilmelde) und *Limonium vulgare* (Gewöhnlicher Strandflieder).

Puccinellion maritimae (Andelrasen)

Große Teile der Fläche werden heute aber offenbar anders als in der Vorkartierung nicht von der Keilmelde dominiert. Diese ist zwar in großer Zahl vorhanden, die Begleitarten haben aber höhere Flächenanteile, so dass keine der Arten zu einer eindeutigen Dominanz kommt. Insofern kann innerhalb der Andel-Rasen auch die Zuordnung zu einer einzelnen Assoziation nicht sauber erfolgen. Diese etwas heterogenen Bestände werden allgemein dem Verband Puccinellion maritimae (Andelrasen) zugeordnet.

Puccinellion maritimae (Andelrasen) Artemisia-Typ

Markant sind im Gebiet darüber hinaus meist kleinflächige Bereiche in der Mitte zwischen den Beetgräben die leicht erhöht liegen und deutlich magerer wirken als das Umfeld. Hier sind in der Regel keine Wasserüberstauung vorhanden. Die Flächen sind zumindest optisch gekennzeichnet durch regelmäßiges auftretenden Strand-Beifuß (*Artemisia maritima*).

Feuchte (F-Wert gemäß Ellenberg) die durchschnittlichen 11 Werte die sich aus den verschiedenen Artenlisten im Gebiet ergeben sind weitgehend ähnlich. Sie liegen zwischen 6 und etwas über 8, das heißt sie zeigen frische bis feuchte bzw. feuchte bis nasse Standorte an. Erwartungsgemäß stimmen diese Werte mit denen Pflanzengesellschaften über ein: die Gesellschaften der unteren Salzwiese aus Quelle und Schlickgras zeigen die höchsten F-Werte an. Die relativ trockensten Standorte liegen im Bereich der oberen Teile der mittleren Salzwiese, die zu unterschiedlichen Anteilen von Andel bestimmt wird. Die trockeneren Standorte zeigen dabei Vorkommen von Rotschwingel und Strand-Beifuß an. Diese Bereiche liegen erkennbar im Gelände auch um 5-10 cm höher, sind in der Regel nicht dauerhaft wasserüberstaut und weisen zudem oft ein durchlässiges, sandiges Substrat auf.

Entsprechend den Salzgehalten liegen die Zeigerwerte für die Bodenreaktion (R-Werte nach Ellenberg) um 7 oder sogar darüber, es werden also neutrale bis schwach alkalische Standorte angezeigt. Hier liegen die tendenziell niedrigsten Werte mit 7,1 wiederum im Bereich der Vorkommen von Strand-Beifuß auf sandigen Untergrund.

Bei der Nährstoffversorgung (N-Wert nach Ellenberg) ist demgegenüber ein deutlicher Gradient erkennbar. Hier sind einerseits die ausgesprochen nassen Standorte im Bereich der Schlickgras vorkommen, trotz der prinzipiell nährstoffreichen Sedimentfracht, physiologisch offenbar nur mäßig nährstoffreich (N = 4, Biotopbpgen 9, BA 9/1). Die mittlere Salzwiese weist demgegenüber oft Werte um 6,5 auf. In den höher gelegenen Geländeteilen mit Vorkommen von Strand Beifuß sinkt der Wert wieder auf 5,5. Während die niedrigeren Nährstoffgehalte bei sandigem Substrat zu erwarten sind, erklären sich die geringen Werte in den Schlickgraswiesen vermutlich mit einer geringeren Verfügbarkeit der Nährstoffe wegen der unvollständigen Zersetzung der organischen Substanz unter sauerstoffarmen Bedingungen im dauerhaft wassergesättigten Boden.

Eine Auswertung der Ergebnisse hinsichtlich der Vorkommen ökologischer Strategietypen ist nur mäßig aussagekräftig. Alle in der Salzwiese auftretenden Arten sind wegen ihrer Anpassung an hohe Salzgehalte im Bodenwasser einerseits Stresstrategen. Einige der Arten sind wegen ihres Ausdauernden Charakters und der Beweidungsresistenz gleichzeitig Konkurrenzstrategen dies trifft vor allem auf Keilmelde und die hochwüchsigen Gräser zu. Dementsprechend dominiert in allen Aufnahmen der Anteil des Stresstrategen und der Anteil der Konkurrenzstrategen schwankt je nach Anteil von Quecke, Schlickgras oder Keilmelde. Da alle Aufnahmen im Bereich nur knapp über dem mittleren Tide-Hochwasser, mit noch erheblichem Salz Einfluss stattfanden, können hier die anderen Strategietypen keine größere Bedeutung erlangen.

3.6.6 Bodenzoologie

Die nachgewiesenen Tierarten sind überwiegend als aquatische Arten anzusehen, die zudem, wie auf einer Salzwiese zu erwarten, meso- bis polyhalin sind, also mittlere bis hohe Salzgehalte ertragen. Die gefundenen Arten sind, soweit bekannt, nicht nur in Salzwiesen, sondern Brackwasserhabitaten allgemein verbreitet. Wie bereits bei der Erstuntersuchung kommt in den unteren beiden Tiefenstufen hauptsächlich die Art *Marionina subterranea* vor. Die mittlere Feuchtezahl der Artengemeinschaft liegt nahe 10 und charakterisiert den Standort damit als ein Habitat im Übergangsbereich zwischen terrestrischen und aquatischen Lebensräumen. Die mittlere Salzzahl von 4,4 weist wie zu erwarten auf einen Lebensraum mit mäßigen bis hohen Salzgehalten hin. Alle vorkommenden Arten, die bereits einen Reaktionszeigerwert zugewiesen bekommen haben, werden den Schwachsäurezeigern zugeordnet.

Im System der Zersetzergesellschaften sind die terrestrischen Salzbeeinflussten Gesellschaften bisher nicht weiter differenziert, da ausreichend Referenzuntersuchungen fehlen. Ähnliches gilt für das System der Bodenlebensgemeinschaften, welches keine salzbeeinflussten Typen umfasst.

3.7 BDF02 Süderlügum



3.7.1 Landschaft

Die BDF02 liegt etwa 3 km südwestlich von Süderlügum in der Lecker Geest, einem Teil der Hohen Geest.

Die BDF liegt 15 m über NN auf einer Hochfläche einer Altmoräne ohne nennenswertes Gefälle. Auf der Altmoräne liegt eine meist mächtige Geschiebedecksandschicht, die oft von Flug- oder Dünen-sanden überdeckt ist. Aus diesen Sanden entwickelten sich vorzugsweise Podsole und Gley-Podsole mit allen Übergängen, die unter Wald eine saure humose Auflage besitzen. Je tiefer die Böden im Gelände stehen, desto stärker ist der Grundwassereinfluss. In den tiefer gelegenen Gebieten sind Gleye bis flachgründige Niedermoore zu finden.

Die offenen Flächen der Hochfläche werden überwiegend als Acker genutzt (ALK, Stand 2011). Dieser Landschaftsausschnitt ist deutlich geprägt von der Milchviehwirtschaft der Geest, die das Ertragspotenzial der Böden besser als der Ackerbau nutzen kann. Man findet hier große Flächen unter Grünlandnutzung in unterschiedlichen Formen. Dazu gesellt sich besonders auf der Hochfläche der Altmoräne Maisanbau für die Futtergewinnung, der sich in letzter Zeit wegen seiner höheren Futtererträge im Vergleich zur Graswerbung ausbreitet. In jüngster Zeit hat sich hier auch der Maisanbau für die Biogasgewinnung stark ausgebreitet.

Die Flugsand- und Dünenwälder wurden häufig mit Weiß-Tannen, Gemeinen Kiefern Rotfichten und Douglasien aufgeforstet. Dazu wurden grundwassernahe Böden, wie z. B. an der BDF, tiefgepflügt und Beete angelegt, auf denen die Bäume angepflanzt wurden. Die Wälder sind nunmehr häufig 60-100 Jahre alt. Die Holzentnahme erfolgt auf kleinen Flächen bzw. einzelstammweise.

3.7.2 Boden und Geologie

Die BDF liegt in einem der genannten tief umgebrochenen und neu aufgeforsteten Wälder. Der Boden besteht hier aus einem tiefumgebrochenen Podsol (Trepasol) aus holozänen Flugsanden. Die Fläche ist von etwa einen Meter tiefen Gräben durchzogen (siehe Abbildung 3.30). Dazwischen erheben sich so genannte „Beete“ mit dem nachfolgend beschriebenen Boden.

Abbildung 3.30: tief umgebrochener Podsol aus holozänen Flugsanden (Leitprofil)

Über dem feinsandigen Mittelsand des Oberbodens hat sich ein 6-7 cm mächtiger rohhumusartiger Moder gebildet. Das Material des Of- und Oh-Horizontes ist extrem sauer (pH-Wert 2,7, Eisen-Pufferbereich) und sehr stickstoffarm (C/N-Verhältnis 24). Der Ä-Horizont mit einer sehr geringen effektiven Lagerungsdichte ist sehr sauer (pH-Wert 3,2, Aluminium-Pufferbereich) und sehr stickstoffarm (C/N-Verhältnis 23).

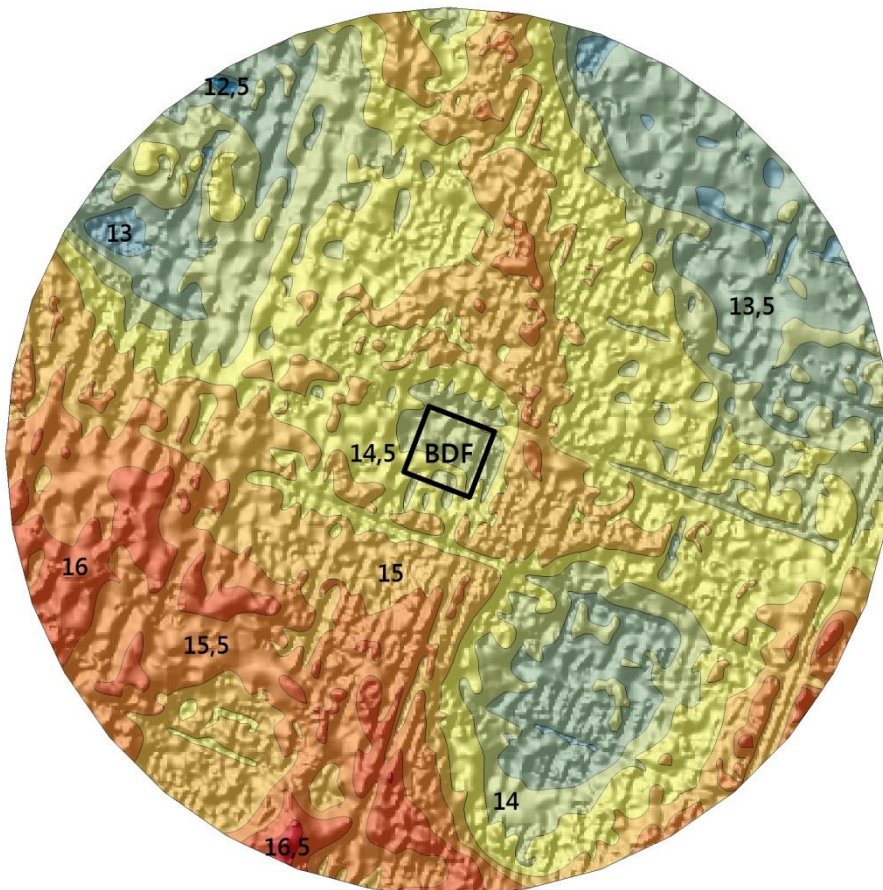


Abbildung 3.31: Relief in der Umgebung der BDF

3.7.3 Klima, Witterung und Wasserhaushalt

Die Jahresdurchschnittstemperatur beträgt 7,9°C. Die Jahresniederschläge von 810 mm weisen bereits auf Steigungsregen aufgrund der höheren Lage zum westlichen Vorland hin.

Der sandige Standort liegt in einem relativ ebenen Altmoränengebiet mit nur wenigen Metern Höhenunterschied (Abbildung 3.31). Die effektive Durchwurzelung beträgt 74 cm, so dass von der Feldkapazität von 115 mm 84 mm pflanzenverfügbar sind. Das Grundwasser steht im Sommer meist in etwa 200 cm Tiefe (unter GOF). Die winterlichen Wasserstände schwanken im Bereich von 70 und 150 cm Tiefe, so dass das kapillar aufsteigende Wasser nur zeitweise den Wurzelraum erreicht. Aufgrund des geringen Wasserhaltevermögens des Reinsandes und des meist fehlenden Grundwasseranschlusses ist der Standort stark abhängig von der klimatischen Wasserbilanz, die vom April bis in den Juli stark negativ ausfallen kann.

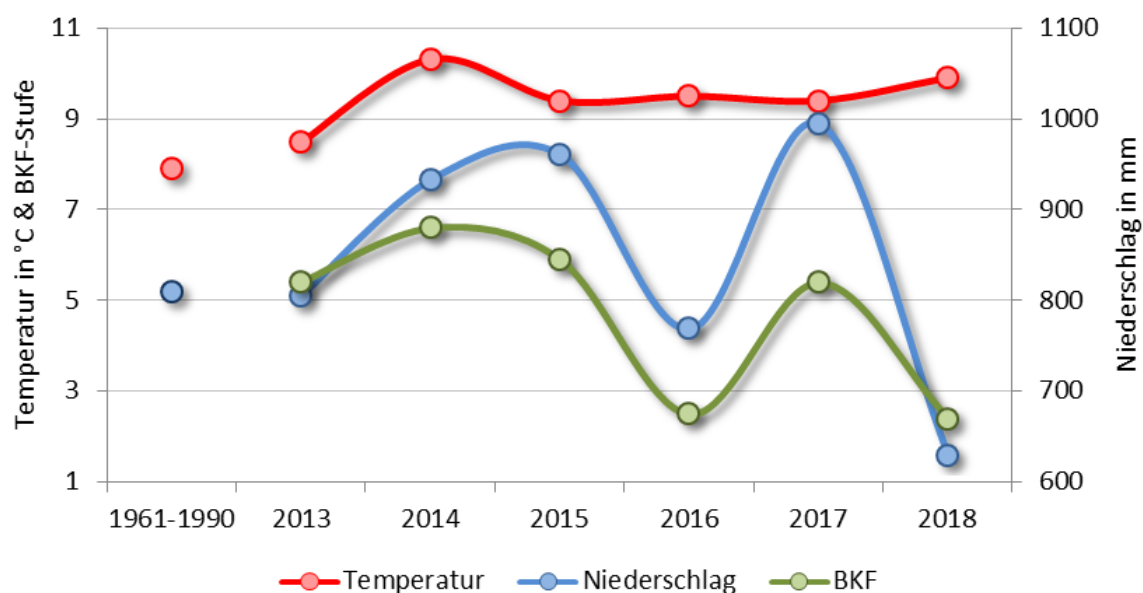


Abbildung 3.32: Temperatur, Niederschlag und bodenkundliche Feuchtestufe an der BDF02

Zeitraum	Temperatur (°C)	Niederschlag (mm)	BKF	Grüwa. (cm Tiefe)
1961-1990	7,9	888		
2013-2018	9,5	849	4,7	120
2018	9,9	630	2,4	128

Tabelle 3.14: Klima/Witterung und Wasserhaushalt zu verschiedenen Zeiträumen, Temperatur in °C im Jahresdurchschnitt, Niederschlag in mm als Jahressumme, bodenkundliche Feuchtestufe (BKF), Grundwasser in cm

Die letzten sechs Jahre (2013-2018) waren 1,6°C wärmer und etwa genauso niederschlagsreich wie im Schnitt der Jahre 1961 bis 1990. Der Standort war als mittelfrisch einzustufen (BKF5)

Der Standort war aufgrund des sehr nassen Jahres 2017 bis in den April nass und trocknete danach in der Trockenheit und Hitze rasch und vollständig aus. Bereits im August verlor der Standort den Kontakt zum Grundwasser, es gab keinen kapillaren Wasseraufstieg mehr. Die bodenkundliche Feuchtestufe sank um mehr als zwei Stufen, so dass der Standort als mittel trocken galt (BKF2).

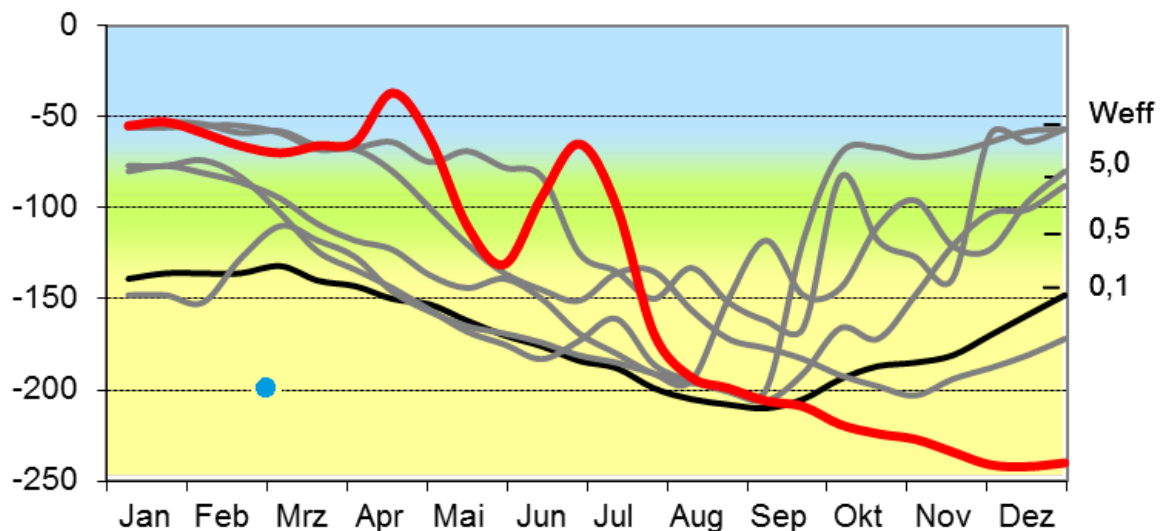


Abbildung 3.33: Grundwasserganglinien für die Jahre 2013 - 2017 (grau), 2018 (rot) sowie 1991-2018 (schwarz), Grundwasserstand zum Zeitpunkt der Probenentnahme (blauer Punkt), linke Skala: Tiefe in cm unter GOF, rechte Skala: Weff = Untergrenze des effektiven Wurzelraumes, Zahlenangaben kapillarer Aufstieg in mm/Tag aus der jeweiligen Tiefe (siehe linke Skala), untere Skala: lfd. Monate des Jahres

3.7.4 Bewirtschaftung

Der Wald besteht aus einem lockeren bis lichten Mischbestand aus älteren Tannen und Gemeiner Fichte sowie in einem Jungwuchs, in dem vorwiegend Weißtannen und Rotfichten aufkommen. Die Holzentnahme erfolgt kleingruppen- bis einzelstammweise, so dass der Wald nach und nach naturverjüngt wird.

3.7.5 Vegetationskunde

Auf der BDF stockt ein Nadelwald mit Tanne (*Abies alba*), Gemeiner Fichte (*Picea abies*), Gemeiner Kiefer (*Pinus sylvestris*) und Eberesche (*Sorbus aucuparia*), der keiner natürlichen Waldgesellschaft zuzuordnen ist. Die Bäume bedecken 45% der Fläche. Die Strauchschicht ist kaum vertreten, die Krautschicht bedeckt zu 75% den Boden, hauptsächlich mit Draht-Schmiele (*Deschampsia flexuosa*) und Pfeifengras (*Molinia caerulea*). Die vorgefundenen Pflanzen zeigen einen frischen bis feuchten, sauren und mittel mäßig stickstoffreichen Standort an.

3.7.6 Bodenzöologie

Auf dieser BDF wurde 2018 nur eine epigäische Regenwurmart nachgewiesen. Abundanz und Biomasse der Regenwürmer wie auch die Abundanz der Kleinringelwürmer waren im Vergleich mit Referenzstandorten als niedrig einzustufen (BEYLICH & GRAEFE 2009). Dies gilt auch für die Artenzahlen beider Tiergruppen. Starksäurezeiger dominierten die Lebensgemeinschaft völlig, Säure- und Mäßigsäurezeiger kamen nur ganz vereinzelt vor. Feuchtezeiger kamen nicht vor. Abundanz und Biomasse der Regenwürmer lagen 2018 erheblich niedriger als bei den drei vorhergehenden Untersuchungen. Die Regenwurmfunde beschränkten sich zudem auf einen Teilbereich der BDF. Die Siedlungsdichte der Kleinringelwürmer erreichte 2018 kaum die Hälfte der Werte der ersten drei Untersuchungsjahre.

Ursache für den Populationsrückgang beider Tiergruppen ist die ausgeprägte Trockenheit im Jahr 2018. Die Bodenkundliche Feuchtestufe lag zwischen schwach und mittel trocken und damit erheblich niedriger als sonst üblicherweise an diesem Standort.

Die Gesamtartenzahl der Anneliden ist jedoch trotz des Abundanzeinbruchs beider Gruppen auf sehr niedrigem Niveau stabil. Veränderungen bei den Dominanzverhältnissen der Lebensform- und Strategietypen sowie Reaktionszeigergruppen gibt es im Vergleich zu den Voruntersuchungen nicht. Das Fehlen endogäischer und anecischer Regenwürmer sowie der hohe Anteil Starksäurezeiger kennzeichnen die Zersetzergesellschaft weiterhin als typische Ausprägung des **Acheto-Cognettietums**. Eine Entwicklungstendenz zu einem anderen Gesellschaftstyp ist derzeit nicht zu erwarten.

3.7.7 Bodenmikrobiologie (Charakterisierung aus 2016)

Humusaufgabe

Bei den bodenmikrobiologischen Parametern zeigt die BDF02 durchgehend deutlich unterdurchschnittliche Werte. Jedoch liegt sie im Vergleich mit den übrigen Waldstandorten bei der Basalatmung (R_{B-Hein}), bei der Argininammonifikation (ARG) sowie bei dem metabolischen Quotienten ($Q_{met-CFE}$) nicht an letzter Stelle.

In der Humusaufgabe ist der C_{org} -Gehalt 37-mal, der N_t -Gehalt 27-mal, das C_{org}/N_t -Verhältnis 1,4-mal und der N_{min} -Gehalt 31-mal höher als im Mineraloberboden. Bei den bodenmikrobiologischen Parametern sind die Werte in der Humusaufgabe für $C_{mic-CFE}$ 11-mal, $N_{mic-CFE}$ 12-mal, R_{B-Hein} 38-mal, ARG 17-mal, $Q_{mic-CFE}$ 0,3-mal und $Q_{met-CFE}$ 3-mal höher als im Mineraloberboden.



Abbildung 3.34: BDF02 bei der Probenentnahme für bodenmikro-biologische Untersuchungen am 15.04.2013

Mineraloberboden

Der Gehalt der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$) der BDF02 wird nach Quirin und Emmerling (2004) als mittel hoch eingestuft und zeigt den niedrigsten Wert im Vergleich mit allen übrigen Waldstandorten und somit den Laubwäldern. Auch bei dem Gehalt des mikrobiellen Stickstoffs ($N_{mic-CFE}$) und bei der Basalatmung (R_{B-Hein}) zeichnet sich die BDF02 durch die niedrigste mikrobiologische Aktivität aus. Die Argininammonifikation (ARG) ist wie an fast allen Waldstandorten als sehr gering zu bezeichnen. Der mikrobielle Quotient ($Q_{mic-CFE}$) ist sehr hoch und weist den zweithöchsten Wert von allen Wald-BDF auf. Der metabolische Quotient ($Q_{met-CFE}$) ist analog zu den übrigen Waldstandorten sehr niedrig.

3.8 BDF07 Pobüller Bauernholz



3.8.1 Landschaft

Die BDF07 liegt etwa 10 km nordnordöstlich von Treia in der Hohen Geest.

Die BDF liegt 20 m über NN auf einer Hochfläche einer Altmoräne, die langsam nach Nordosten hin auf 15 m über NN abfällt. Auf der Altmoräne liegt eine mehr oder weniger mächtige Geschiebedecksandschicht über teilweise extrem dichtem Geschieblehm. Aus mächtigen Geschiebedecksandschichten entwickelten sich vorzugsweise Podsol-Pseudogleye, die unter Wald eine extrem mächtige und extrem saure humose Auflage besitzen. Je dichter der wasserstauende Geschiebelehm unter der

Oberfläche steht, desto stärker ist in der Regel die Pseudovergleyung ausgeprägt, bis hin zu reinen Pseudogleyen. In den wenigen Senken und den Tälern der Altmoräne sowie den Übergängen zu den Tälern sind Gleye bis Anmoorgleye zu finden. In den breiten Tälern haben sich meist Niedermoore bis hin zu den eher seltenen Hochmooren entwickelt.

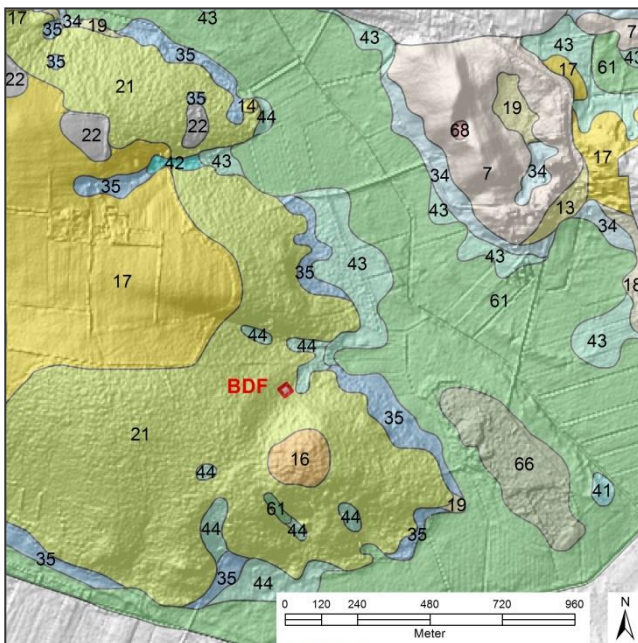


Abbildung 3.35: Bodenformen im Umland der BDF07 (Legende im Anhang)

Die offenen Flächen der Hochfläche werden als Grünland und Acker genutzt (ALK, Stand 2011). Dieser Landschaftsausschnitt ist deutlich geprägt von der Milchviehwirtschaft der Geest, die das Ertragspotenzial der Böden besser als der Ackerbau nutzen kann. Man findet hier große Flächen unter Grünlandnutzung in unterschiedlichen Formen. Dazu gesellt sich besonders auf der Hochfläche der Altmoräne Maisanbau für die Futtergewinnung, der sich in letzter Zeit wegen seiner höheren Futtererträge im Vergleich zur Graswerbung ausbreitet.

An einigen Stellen der Geest sind so genannte Bauernwälder erhalten. Die Besitzverhältnisse hier sind sehr zersplittert und kleinteilig. Entsprechend kleinflächig wechselt die Bewirtschaftung: Auf vielen kleinen Flächen wird lediglich der Bedarf der Bauern einzelstammweise und meist bodenschonend entnommen. Oft sind aber auch die Flächen mit ortsfremden Gehölzen wie z. B. Sitkafichte und Lärche aufgeforstet. Diese werden als Ganzes geschlagen und abgefahren. Es entstehen dabei kleinere Kahlschläge und oft grobe Fahrspuren.

In den breiten stark grundwasserbeeinflussten und vermoorten Tälern hat sich eine Grünlandnutzung erhalten. Das nah gelegene östliche Hochmoor befand sich unter Nutzung und wird seit einiger Zeit wieder sich selbst überlassen.

3.8.2 Boden und Geologie

Auf halber Höhe der Altmoräne ist im Bereich der BDF ein Pseudogley-Podsol aus weichseleiszeitlichen Sandersanden über saalezeitlichem Geschiebelehm entstanden.

Über dem schwach schluffigen Sand des Oberbodens hat sich ein bis zu 20 cm mächtiger Feuchtrohumus gebildet. Das Material des Oh-Horizontes ist sehr stark zersetzt, extrem sauer (pH-Werte 2,8-2,9, Eisen-Pufferbereich) und sehr weites C/N-Verhältnis von 26-33. Der teilweise stauwasser geprägte Äh-Horizont mit einer geringen bis mittleren Trockenrohdichte ist sehr sauer (pH-Werte 3,3-3,5, Aluminium-Pufferbereich) und besitzt ein weites bis sehr weites C/N-Verhältnis von 17-28.

Abbildung 3.36: Pseudogley-Podsol aus weichseleiszeitlichen Sandersanden über saalezeitlichem Geschiebelehm (Leitprofil)



3.8.3 Klima, Witterung und Wasserhaushalt

Die Jahresdurchschnittstemperatur beträgt im langjährigen Durchschnitt (1961-1990) 7,9°C. Die Jahresniederschläge von 847 mm weisen deutlich auf Steigungsregen aufgrund der höheren Lage zum westlichen Vorland hin.

Der lehmige Standort liegt auf einem flachen Abhang einer Altmoräne, der bereits nach 150 Metern im Nordosten in ein weites vom Niedermoor beherrschtes Tal übergeht. Der Höhenunterschied beträgt nur 5 m. Die effektive Durchwurzelung reicht bis 70 cm. Von der Feldkapazität von 131 mm sind 105 mm pflanzenverfügbar, welches durch Grund-/Stauwasser ergänzt werden kann. Aufgrund sehr dichter, wasserstauender Horizonte führen die darüber liegenden Horizonte über lange Zeit im Jahr Wasser, so dass es eher selten zu einem Wassermangel kommen kann. Meist jedoch steht das Wasser bis weit in das Frühjahr und teilweise in den Sommer hinein dicht an der Oberfläche, wodurch sich der Feuchtrohumus gebildet hat. Im Jahresdurchschnitt liegt das Grundwasser etwa

½ bis 1m unter GOF (vgl. auch Abbildung 3.39), so dass die bodenkundliche Feuchtestufe in der Regel als mittel bis stark feucht anzusprechen ist.

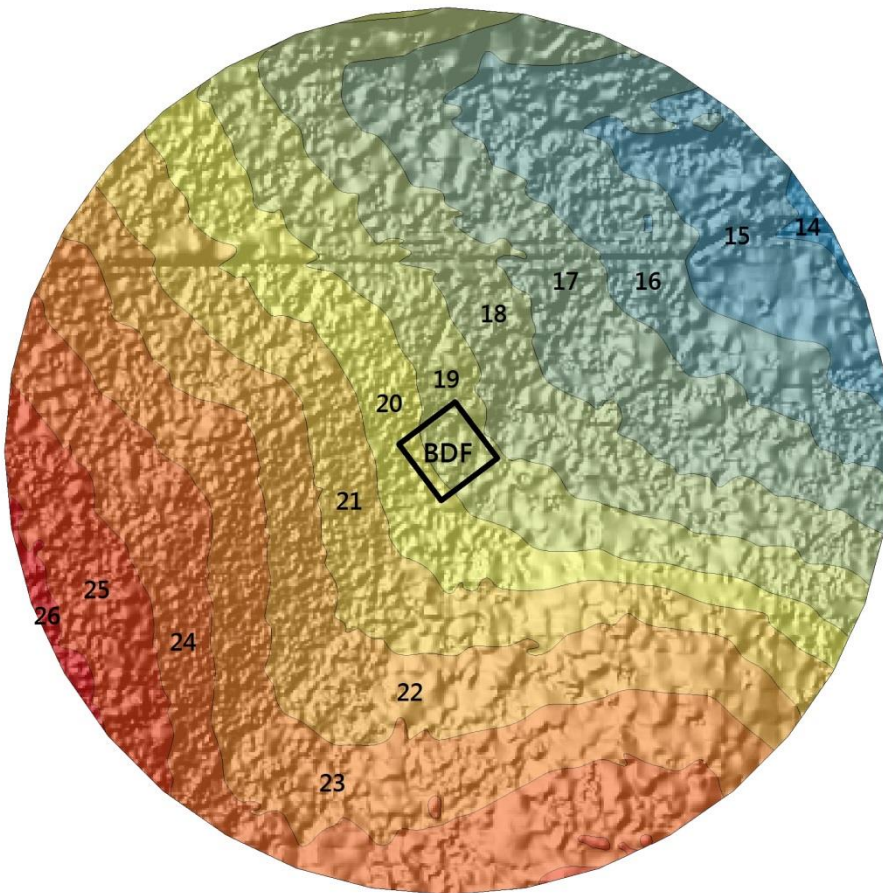


Abbildung 3.37: Relief in der Umgebung der BDF

Zeitraum	Temperatur (°C)	Niederschlag (mm)	BKF	Gru-wa. (cm Tiefe)
1961-1990	7,9	847		
2013-2018	9,6	902	8,3	31
2018	10,0	655	6,4*	56*

Tabelle 3.15: Klima/Witterung und Wasserhaushalt zu verschiedenen Zeiträumen, Temperatur in °C im Jahresdurchschnitt, Niederschlag in mm als Jahressumme, bodenkundliche Feuchtestufe (BKF), Grundwasser in cm

* bei einem angenommenen Grundwasserspiegel von 97 cm ab Mitte Juni

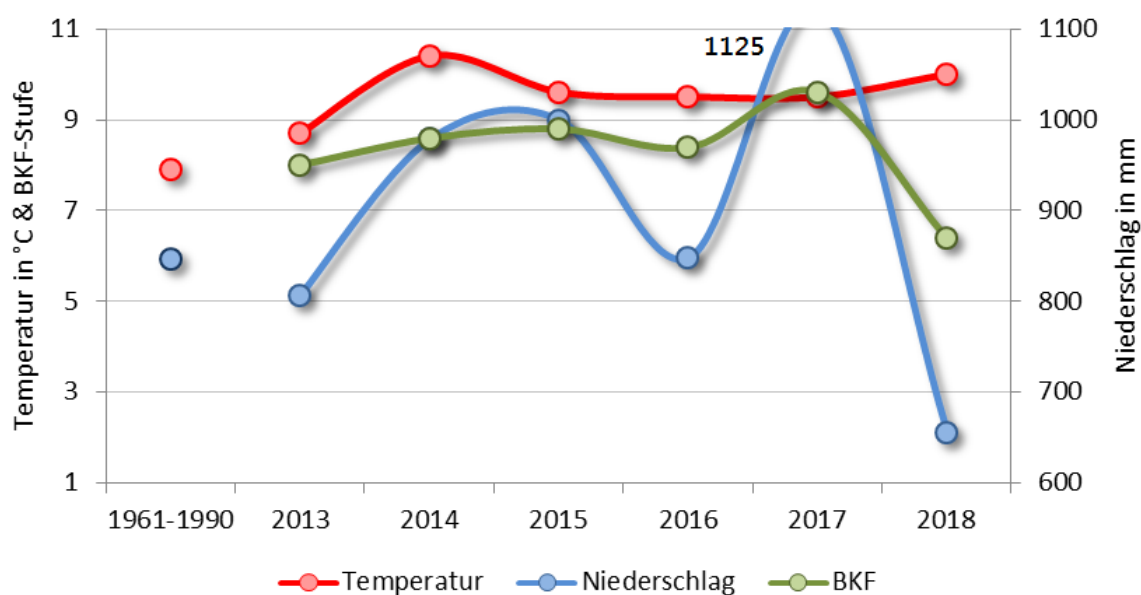


Abbildung 3.38: Temperatur, Niederschlag und bodenkundliche Feuchtestufe an der BDF07

Die letzten fünf Jahre (2013-2018) waren 1,7°C wärmer und gut 50 mm niederschlagsreicher als im Schnitt der Jahre 1961 bis 1990. Das Wasserangebot wurde durch einen sehr hohen kapillaren Aufstieg aus dem Grund-/Stauwasser, das im Jahresdurchschnitt bei etwa 30 cm unter GOF stand, ergänzt (Abbildung 3.39), so dass die bodenkundliche Feuchtestufe des Standortes als mittel feucht angesprochen werden muss (BKF8).

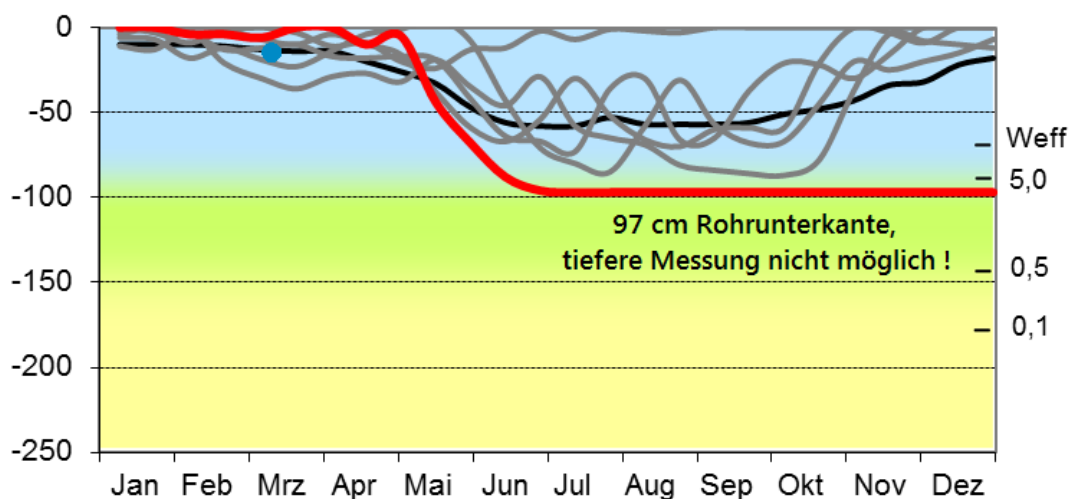


Abbildung 3.39: Grundwasserganglinien für die Jahre 2013 - 2017 (grau), 2018 (rot) sowie 1991-2018 (schwarz), Grundwasserstand zum Zeitpunkt der Probenentnahme (blauer Punkt), linke Skala: Tiefe in cm unter GOF, rechte Skala: Weff = Untergrenze des effektiven Wurzelraumes, Zahlenangaben kapillarer Aufstieg in mm/Tag aus der jeweiligen Tiefe (siehe linke Skala), untere Skala: lfd. Monate des Jahres

Das Jahr 2018 war fast ein halbes Grad wärmer als die ohnehin warme Periode von 2013 bis 2018, und extrem trocken (655 mm !). Ab Ende April sank der Grundwasserspiegel rasch und war ab Mitte Juni nicht mehr im Meßrohr von 1 m Tiefe anzutreffen. Wahrscheinlich ist er noch weiter gefallen, aber wahrscheinlich hat es noch einige Wochen bis Monate eine nennenswerte Wassernachlieferung aus dem Grundwasser gegeben, so dass die bodenkundliche Feuchtestufe wahrscheinlich nicht wesentlich unter BKF5 sank, d. h. der Standort als mindestens mittel frisch anzusprechen war.

3.8.4 Bewirtschaftung

Im Rahmen der bäuerlichen Bewirtschaftung wurden und werden einzelstammweise Bäume entnommen. Diese Nutzung hat sich seit Jahrzehnten, vermutlich über 100 Jahre lang nicht geändert.

3.8.5 Vegetationskunde

Auf der BDF stockt ein Buchen-Eichenwald in Pfeifengras-Ausbildung (*Violo-Quercetum typicum*, *Molinia caerulea*-Variante), die von Stiel- und Trauben-Eichen dominiert werden. Es kommen aber auch Rot-Buche und Moor-Birke vor. Die Baumschicht deckt die Fläche zu 45% ab. Die Strauchschicht ist mit einzelnen Faulbäumen kaum vertreten. Der Boden ist zu 70%, hauptsächlich mit Pfeifengras und Draht-Schmiele, bedeckt. Die Pflanzengesellschaft zeigt einen feuchten, sauren und stickstoffarmen Standort an.



Abbildung 3.40: BDF07 bei der Probenentnahme am 22.04.2013

3.8.6 Bodenzoologie

Regenwürmer kamen mit zwei epigäischen Arten vor. Im Vergleich mit den Referenzwerten für stark saure Forststandorte (BEYLICH & GRAEFE 2009) waren Abundanz, Biomasse und Gesamtartenzahl der Regenwürmer als durchschnittlich einzustufen. Die Gesamtabundanz und Artenzahl der Kleinringelwürmer waren dagegen niedrig. Starksäurezeiger dominierten die Lebensgemeinschaft. Alle 2018 gefundenen Arten sind Frischezeiger oder gegenüber der Bodenfeuchte als indifferent eingestuft.

Abundanz und Biomasse der Regenwürmer zeigten im Untersuchungszeitraum Schwankungen auf niedrigem bis durchschnittlichem Niveau im Vergleich zum Referenzbereich (BEYLICH & GRAEFE 2009), aber keinen signifikanten Rückgang der Population im Jahr 2018. Im Gegensatz dazu wurde für die Kleinringelwürmer 2018 eine signifikant niedrigere Abundanz als in den Untersuchungsjahren 1993-2006 gefunden. Die Gesamtartenzahl lag 2018 etwas niedriger als zuvor, zeigte aber insgesamt über die Jahre deutliche Schwankungen. Als Ursache für den Populationsrückgang der Kleinringelwürmer wird die ausgeprägte Trockenheit im Jahr 2018 angenommen. Die Bodenkundliche Feuchtestufe lag etwa zwei Stufen niedriger als sonst an diesem Standort. Bei den Dominanzverhältnissen der Lebensformtypen der Regenwürmer, der Strategietypen sowie der Reaktionszeigergruppen der Kleinringelwürmer gab es allerdings keine Verschiebungen.

Das Fehlen endogäischer und anecischer Regenwürmer sowie der hohe Anteil Starksäurezeiger kennzeichnen die Zersetzergesellschaft als **Acheto-Cognettietum**. Die niedrige Abundanz der Kleinringelwürmer hierfür ist allerdings untypisch. Eine Entwicklungstendenz zu einem anderen Gesellschaftstyp ist derzeit nicht zu erkennen.

3.8.7 Bodenmikrobiologie (Charakterisierung aus 2016)

Humusaufgabe

Die mikrobiologische Aktivität in der Humusaufgabe der BDF07 zählt zu den höchsten im Wald-Vergleich, es zeigen sich jedoch deutliche Unterschiede zwischen den beiden getrennt untersuchten Horizonten Of und Oh. Der Gehalt der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$) ist in der Humusaufgabe der BDF07 am höchsten, wobei der Of-Horizont etwa doppelt so viel mikrobielle Biomasse aufweist wie der Oh-Horizont. Ein ähnliches Verhältnis zeigt sich ebenso bei dem mikrobiellen Stickstoff ($N_{mic-CFE}$). Die Basalatmungsrate (R_{B-Hein}) ist die zweithöchste, wobei auch hier der größte Anteil auf die Respiration im Of-Horizont entfällt. Auch bei der Argininammonifikation (ARG) ist eine wesentlich höhere Aktivität im Of-Horizont erkennbar. Im Of-Horizont ist der N_{min} -Gehalt ca. 5-fach höher als im Oh-Horizont. Der mikrobielle Quotient ($Q_{mic-CFE}$) ist im Vergleich der Wald-BDF-Standorte am höchsten, während der metabolische Quotient ($Q_{met-CFE}$) zu den niedrigsten zählt. Bei beiden Parametern zeigt der Of-Horizont den jeweils höheren Wert.

In der Humusaufgabe ist der C_{org} -Gehalt 10-mal, der N_t -Gehalt 13-mal, das C_{org}/N_t -Verhältnis 0,8-mal und der N_{min} -Gehalt 35-mal höher als im Mineraloberboden. Bei den bodenmikrobiologischen Parametern sind die Werte in der Humusaufgabe für $C_{mic-CFE}$ 7-mal, $N_{mic-CFE}$ 17-mal, R_{B-Hein} 24-mal, ARG 102-mal, $Q_{mic-CFE}$ 0,7-mal und $Q_{met-CFE}$ 3-mal höher als im Mineraloberboden.

Mineraloberboden

Bei den bodenmikrobiologischen Parametern bildet der Gehalt der mikrobiellen Biomasse ($C_{\text{mic-CFE}}$) in etwa den Durchschnitt aller Mineralbodenhorizonte der Wald-BDF ab. Nach Quirin und Emmerling (2004) entspricht der $C_{\text{mic-CFE}}$ -Gehalt der Einstufung als sehr hoch, er ist ca. 5-10fach geringer als in der organischen Auflage. Der Gehalt des mikrobiellen Stickstoffs ($N_{\text{mic-CFE}}$) liegt hingegen deutlich unter dem Durchschnitt und ist der insgesamt zweithöchste. Sehr geringe Aktivitäten zeigen sich ebenso bei der Basalatmung ($R_{\text{B-Hein}}$) und bei der Argininammonifikation (ARG). Dieses zeigt sich auch in den Werten des löslichen Stickstoffs. Im Mineralboden wurden ca. 10-100fach niedrigere Werte als in der organischen Auflage gemessen. Der mikrobielle Quotient ($Q_{\text{mic-CFE}}$) ist durchschnittlich hoch, der metabolische Quotient ($Q_{\text{met-CFE}}$) zählt zu den niedrigsten.

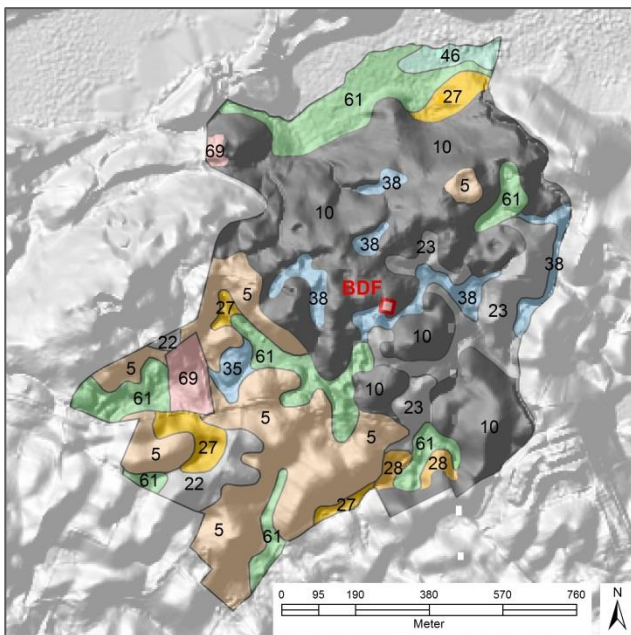
3.9 BDF20 Wüstenfelde



3.9.1 Landschaft

Die BDF20 liegt gut 5 km nordnordöstlich von Eutin in der Holsteinischen Schweiz, einem Teil des Östlichen Hügellandes.

Die BDF liegt 66 m über NN auf einem Moränenkomplex, der sich 40 m über dem Ukeleisee erhebt. Die Moränen bestehen im direkten Umfeld aus Geschiebelehm über -mergel, aus denen sich Parabraunerden bis Pseudogleye und in Senken Gleye bis Niedermoore entwickelt haben. Etwa 250 m südwestlich der BDF beginnen Moränen aus Geschiebesand, in dem sich vorzugsweise sandige Braunerden, ansonsten aber ein ähnliches Spektrum an Böden entwickelt hat. In größeren tief gelegenen Gebieten zum Ukeleisee hin sind großflächig Niedermoore entstanden (Abbildung 3.41).



Die Böden besitzen unter Wald eine stark saure Auflage, deren pH-Werte von meist 3,5-4,0 (CaCl₂) sich im Aluminium-Puffer-Bereich befinden. Der pH-Werte der ebenfalls stark sauren mineralischen Oberböden bewegen sich häufig von 3,0-3,5 am unteren Rand des Aluminium-Puffer-Bereiches.

Abbildung 3.41: Bodenformen im Umland der BDF20 (Legende im Anhang)

Der meist stark reliefierte Moränenkomplex zum Ukeleisee wird nach dem automatischen Liegenschaftskataster (ALK, Stand 2011) als Laubwald genutzt, wohingegen die etwas ebeneren Flächen der höher gelegenen Moränen meist dem Ackerbau vorbehalten bleiben. Die Senken werden meist als Grünland genutzt.

3.9.2 Boden und Geologie

Die BDF befindet sich oberhalb des steilen Abhanges zum Ukeleisee in einem flach gewölbten, trockenen Bereich. Hier ist ein Parabraunerde-Pseudogley aus flacher sandig-lehmiger Fließerde über Geschiebesand, -lehm und -mergel, der in 70 cm Tiefe ansteht, entstanden.

Über dem stark lehmigen, stark humosen Sand des Oberbodens hat sich ein nur 2 cm mächtiger mullartiger bis feinhumusarmer Moder gebildet. Das Material des Of und Oh-Horizontes ist stark zersetzt, sehr stark sauer (pH-Wert 3,7, Aluminium-Pufferbereich) und von einem engen bis mittleren C/N-Verhältnis von etwa 15/1. Der nur 3 cm mächtige Ah-Horizont mit einer geringen bis mittleren Lagerungsdichte ist sehr sauer (pH-Werte 3,3-3,5, Aluminium-Pufferbereich) und ebenfalls von einer mittleren Humusqualität (C/N-Verhältnis 17).



Darunter befindet sich in der sandigen Fließerde eine Stauzone aus lessiviertem, stark schluffigem und mittel lehmigem Sand, die ab 29 cm in den Staukörper aus Geschiebelehm, der hier aus stark lehmigem Sand besteht, übergeht. Ab 70 cm steht der Geschiebemergel aus mittel sandigem Lehm an.

Abbildung 3.42: Parabraunerde-Pseudogley aus flacher sandig-lehmiger Fließerde über Geschiebesand, -lehm und -mergel (Leitprofil)

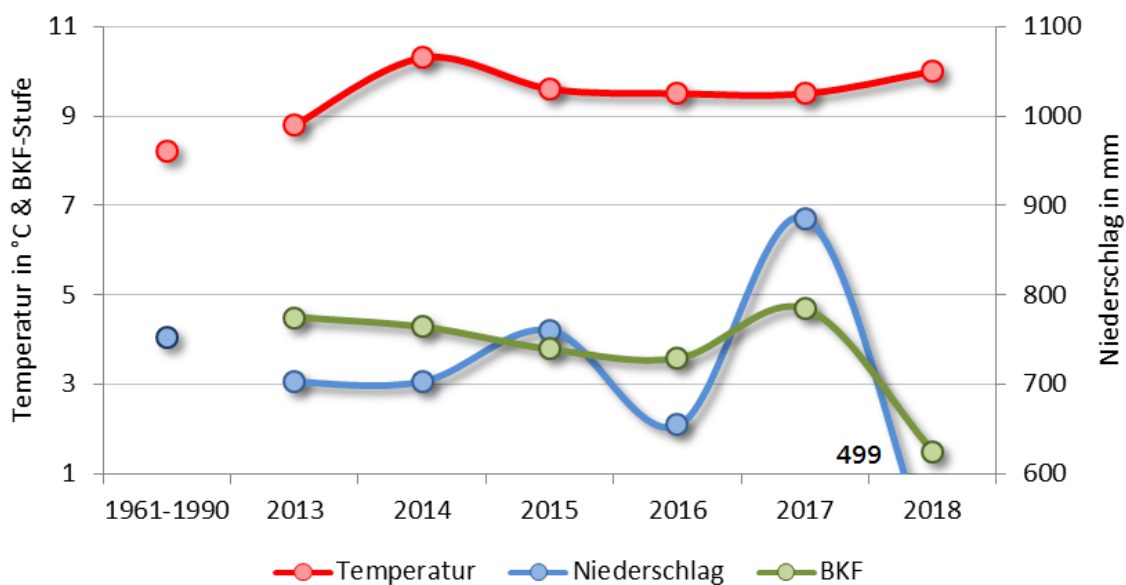


Abbildung 3.43: Temperatur, Niederschlag und bodenkundliche Feuchtestufe an der BDF20

3.9.3 Klima, Witterung und Wasserhaushalt

Die Jahresdurchschnittstemperatur beträgt 8,2°C. Die Jahresniederschläge von 752 mm signalisieren bereits den beginnenden Regenschatten im Östlichen Hügelland.

Der lehmige Standort liegt im oberen Bereich eines Moränenkomplexes, der bereits nach 200 m im Norden steil in Richtung Ukeleisee abfällt und nach 500 m in ein vom Niedermoor beherrschtes Tal übergeht. Der Höhenunterschied beträgt 40 m. Die effektive Durchwurzelung reicht bis 82 cm. Von der Feldkapazität von 246 mm sind 145 mm pflanzenverfügbar, welches aufgrund der Pseudovergleyung im Winterhalbjahr durch Stauwasser ergänzt werden kann.

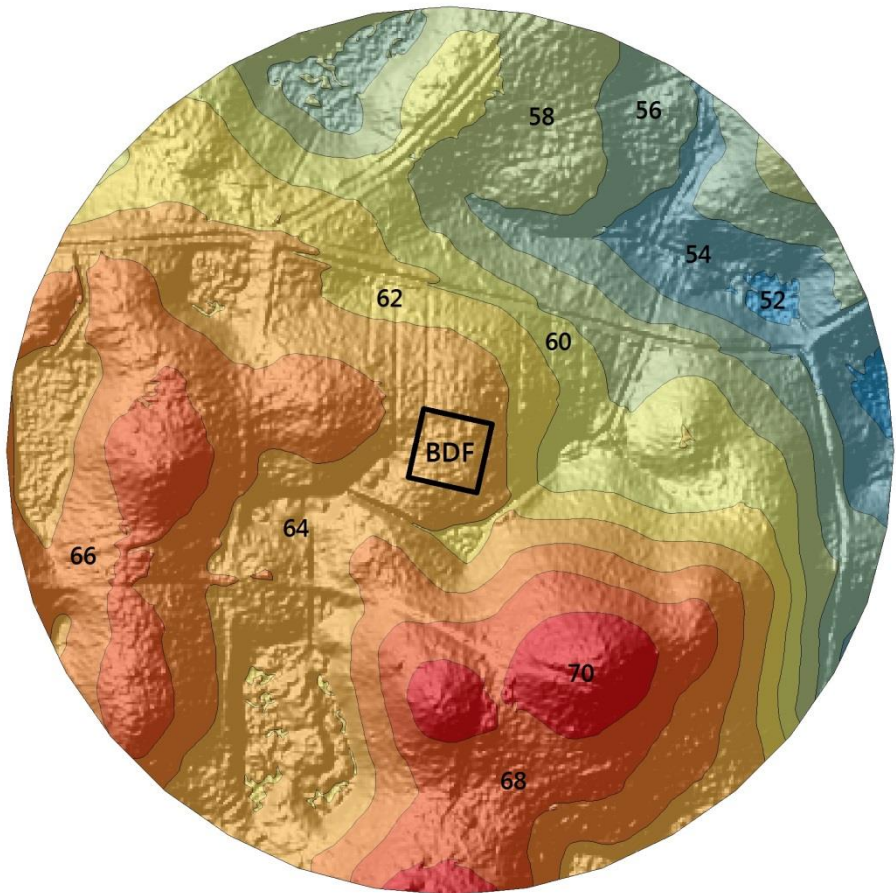


Abbildung 3.44: Relief in der Umgebung der BDF

Vom langjährigen Jahresniederschlag (1961-1990) von 752 mm verbleiben als klimatische Wasserbilanz 322 mm. Von Mai bis August ist in der Regel mit einem mäßigen Wasserbilanzdefizit zu rechnen, wohingegen der Standort im Winter reichlich mit Wasser versorgt ist. Die bodenkundliche Feuchtestufe ist damit in der Regel als schwach frisch (BKF 4) anzusprechen.

Zeitraum	Temperatur (°C)	Niederschlag (mm)	BKF
1961-1990	8,2	752	
2013-2018	9,6	701	3,7
2018	10,0	499	1,5

Tabelle 3.16: Klima/Witterung und Wasserhaushalt zu verschiedenen Zeiträumen, Temperatur in °C im Jahresdurchschnitt, Niederschlag in mm als Jahressumme, bodenkundliche Feuchtestufe (BKF), Grundwasser in cm

Die letzten sechs Jahre waren 1,4°C wärmer und 50 mm trockener als im Schnitt der Jahre 1961 bis 1990. Der Standort war als schwach frisch einzustufen (BKF4).

2018 war noch einmal deutlich, d. h. um 0,4°C wärmer als die ohnehin warme Periode von 2013-2018. Es fielen fast 30% weniger Niederschläge. Offenbar hielt sich im lehmigen Substrat noch eine Restfeuchte, so dass der Standort nicht völlig austrocknete, sondern noch als mittel-stark trocken einzustufen war (BKF1-2).

3.9.4 Bewirtschaftung

Der Buchenwald besteht aus etwa 100-jährigen Buchen, von denen ab und zu einzelne Stämme entnommen werden und unter denen sich ein junger, etwa 20 Jahre alter Baumbestand herausgebildet hat.

Im Winter 2011/2012 wurden mehrere große Buchen gefällt. Überall lagen kleiner Stämme und Äste von dieser Maßnahme. Die BDF blieb aber offenbar von tiefen Fahrspuren verschont. In 2018 wurden viele große Buchen gefällt. Es blieb viel Holz aus den Kronen auf der BDF liegen. Der Einschlag und Abfuhr des Holzes hinterließ viele Fahrspuren.



Abbildung 3.45: BDF20 am 18.04.2013, überall die Spuren der Entnahme von großen Buchen

3.9.5 Vegetationskunde

Der Wald entspricht einem Perlgras-Buchenwald (*Melico-Fagetum*) auf Assoziationsebene. Nur in der nordwestlichen Ecke der BDF ist eine relativ dichte, hochgewachsene Strauchschicht vorhanden. Die Krautschicht ist in Abhängigkeit der bereits deutlichen Beschattung fleckenartig und heterogen

entwickelt. In ihr dominieren für den Perlgras-Buchenwald typische Pflanzen wie Busch-Windröschen (*Anemone nemorosa*), Wald-Sauerklee (*Oxalis acetosella*), Einblütiges Perlgras (*Melica uniflora*), Goldnessel (*Lamium galeobdolon*) sowie Echtes und Kleinblütiges Springkraut (*Impatiens noli-tangere*, *Impatiens parviflora*). Insgesamt kommen, jährlich schwankend, etwa 30 Arten vor. Die Pflanzengesellschaft zeigt einen frischen bis feuchten, mäßig sauren und mäßig bis mittel stickstoffreichen Standort an.

Die BDF wurde im Jahr 2007 vegetationskundlich aufgenommen. Der Wald entspricht nach wie vor einem Perlgras-Buchenwald (*Melico-Fagetum*) auf Assoziationsebene. Da im Umfeld ein Baum gefällt wurde, traten aufgrund der reichlicheren Lichtverhältnisse als Halbschatten-Arten Echtes und Kleinblütiges Springkraut (*Impatiens noli-tangere*, *Impatiens parviflora*) flächig auf. Die Pflanzengesellschaft zeigte einen frischen bis feuchten, mäßig sauren und mäßig bis mittel stickstoffreichen Standort an.

Seit 2012 ist die Vegetation nach der Entfernung großer Buchen wesentlich mehr Licht ausgesetzt, wodurch sich die Artenzusammensetzung weiter verändert.

3.9.6 Bodenzöologie

Es wurden sechs Regenwurmart gefunden, von denen zwei zum endogäischen Lebensformtyp gehörten, die übrigen vier zum epigäischen. Im Vergleich zum Referenzbereich für Forststandorte im pH-Bereich 3,4-4,2 (Moderstandorte) nach BEYLICH & GRAEFE (2009) lagen Regenwurmabundanz und -biomasse im mittleren Bereich bei überdurchschnittlicher Artenzahl der Regenwürmer. Die Abundanz der Kleinringelwürmer war niedrig bei durchschnittlicher Artenzahl. Die hier herangezogene Standortkategorie für Moderstandorte entspricht allerdings nicht ganz den auf der BDF vorliegenden Gegebenheiten, da es sich trotz des niedrigen pH-Wertes bei der Humusform um einen F-Mull bis mullartigen Moder handelt. Das Artenspektrum umfasste die gesamte Bandbreite von Starksäurezeigern bis zu Schwachsäurezeigern, wobei die Mäßigsäurezeiger überwogen. Der 2018 etwas erhöhte Feuchtezeigerwert ist im Wesentlichen auf das Vorkommen zweier Nässezeiger unter den Regenwürmern an dem tiefst gelegenen Probenpunkt der BDF zurückzuführen und deutet nicht auf eine Vernässungstendenz der Gesamtfläche hin.

Siedlungsdichte und Biomasse der Regenwürmer erreichten 2018 nur etwa die Hälfte der Werte von früheren Untersuchungsterminen. Die große, anecische Regenwurmart *Lumbricus terrestris*, die bisher an ein bis drei Probenpunkten auftrat, wurde 2018 nicht gefunden. Epigäische Regenwürmer dominierten 2018 stärker. Auch die Siedlungsdichte der Kleinringelwürmer erreichte in früheren Untersuchungsjahren oft doppelt so hohe Werte. Im Vergleich zu den Voruntersuchungen sind einige Arten weggefallen oder stark zurückgegangen. Im Hinblick auf die Reaktionszeigerwerte war eine Dominanzabnahme von sowohl Starksäure- als auch Schwachsäurezeigern zu verzeichnen. Dadurch nahmen die Mäßigsäurezeiger anteilig zu und die mittlere Reaktionszahl veränderte sich letztendlich gegenüber den Vorjahren kaum. Als Ursache für den Rückgang der Kleinringelwürmer wird auch hier die ausgeprägte Trockenheit im Jahr 2018 angenommen. Allerdings war die Auswirkung auf die Populationen artspezifisch unterschiedlich stark ausgeprägt.

Dem über die Fläche ausgebildeten Mosaik zweier Humusformen entsprechend befindet sich die Zersetzergesellschaft seit der Erstuntersuchung in einem **Übergangszustand zwischen Achaetocognettietum und Stercuto-Lumbricetum**. Diese Situation steht vermutlich in Zusammenhang mit

einem im Vergleich zu den anderen Forststandorten günstigeren C/N-Verhältnis im sehr stark sauren Oberboden sowie mit dem Vorliegen von Carbonat haltigem Geschiebemergel in tieferen Schichten. Es sind charakteristische Arten beider Gesellschaftstypen vertreten, womit auch die vergleichsweise hohe Artenzahl zu erklären ist. Die für die Ausbildung von Mull-Humusformen verantwortlichen anecischen und endogäischen Regenwurmarten kommen nicht flächendeckend vor. 2018 wurden erstmals keine anecischen Regenwürmer nachgewiesen. Das Vorkommen endogäischer Regenwürmer war gegenüber der Voruntersuchung gleichbleibend. Ein „Kippen“ des Übergangszustands in Richtung einer flächendeckenden Ausbildung des Achaeto-Cognettietums in Kombination mit Moder-Humusformen aufgrund sich verändernder Bodenbedingungen ist derzeit nicht absehbar.

3.9.7 Bodenmikrobiologie

Humusaufgabe

Aus mikrobiologischer Sicht weist die Auflage der BDF20 neben der BDF07 die höchsten Aktivitätswerte auf. Dies gilt insbesondere für die Parameter mikrobieller Stickstoffgehalt ($N_{mic-CFE}$), Basalatmung (R_{B-Hein}) sowie für die Argininammonifikation (ARG). Der mikrobielle Quotient ($Q_{mic-CFE}$) liegt leicht über dem Durchschnitt, während der metabolische Quotient ($Q_{met-CFE}$) der mit Abstand höchste ist. Im Vergleich zu den übrigen BDF wies die Humusaufgabe dieser BDF, abgesehen von der BDF07, den höchsten Gehalt der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$) auf.

In der Humusaufgabe ist der C_{org} -Gehalt 4-mal, der N_t -Gehalt 4-mal, das C_{org}/N_t -Verhältnis 1,2-mal und der N_{min} -Gehalt 7-mal höher als im Mineraloberboden. Bei den bodenmikrobiologischen Parametern sind die Werte in der Humusaufgabe für $C_{mic-CFE}$ 2-mal, $N_{mic-CFE}$ 3-mal, R_{B-Hein} 9-mal, ARG 9-mal, $Q_{mic-CFE}$ 0,5-mal und $Q_{met-CFE}$ 4-mal höher als im Mineraloberboden.

Mineraloberboden

Von allen Waldstandorten zeichnet sich der Mineraloberboden der BDF20 durch die höchsten Aktivitätswerte bei allen Parametern aus. Der Gehalt der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$) wird nach Quirin und Emmerling (2004) als sehr hoch eingestuft. Die gleiche Einstufung gilt ebenso bei dem mikrobiellen Quotienten ($Q_{mic-CFE}$). Die Argininammonifikation (ARG) ist dagegen lediglich niedrig. Der metabolische Quotient ($Q_{met-CFE}$) ist sehr niedrig, weist dennoch den höchsten Wert im Wald-Vergleich auf.

3.10 BDF32 Hahnheide



3.10.1 Landschaft

Die BDF32 liegt im Stormarner Endmoränengebiet, einem Teil des Östlichen Hügellandes.

Die BDF liegt 46 m über NN auf einem Moränenkomplex, der von etwa 10 m niedriger gelegenen Bachläufen durchschnitten und entwässert wird. Die Moränen bestehen im direkten Umfeld aus sandigen Fließerden über Geschiebesanden, aus denen sich vorwiegend Braunerden, aber auch Podsol-Braunerden entwickelt haben. In der weiteren Umgebung bildet auch Geschiebelehm und -mergel das Bodenausgangsgestein, bei mächtiger sandiger Fließerde für Pseudogley-Braunerden und bei geringerer Mächtigkeit für Parabraunerden bis Pseudogleye). In den Einschnitten der Bachläufe entstanden Gleye. Die sandigen, terrestrischen Böden besitzen unter Wald eine Auflage aus meist Moder über schluffigen Sanden, deren pH-Werte von meist 3,5-4,0 (CaCl₂) sich im sehr stark saurem bzw. Aluminium-Puffer-Bereich befinden.

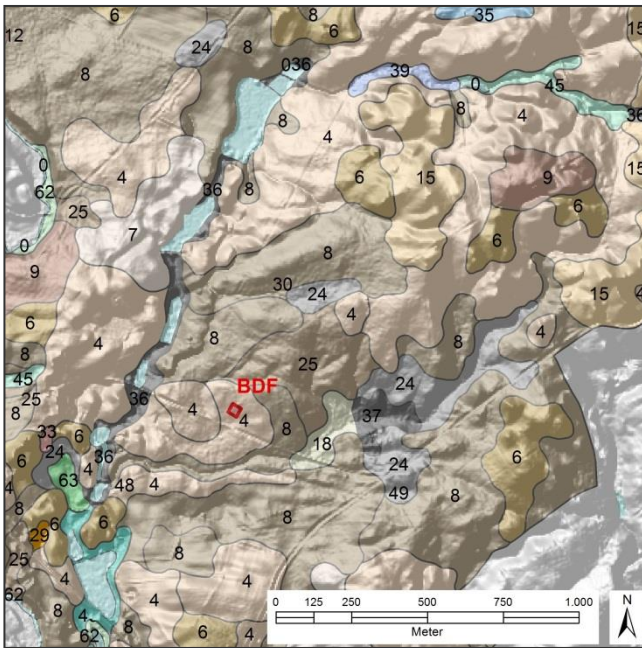


Abbildung 3.46: Bodenformen im Umland der BDF32 (Legende im Anhang)

Der unterschiedlich stark reliefierte Moränenkomplex wird nach dem automatischen Liegenschaftskataster (ALK, Stand 2011) als Laubwald oder Mischwald genutzt, die Freiflächen im direkten Umfeld des Waldes bleiben meist dem Ackerbau vorbehalten. Die Senken werden meist als Grünland genutzt.

3.10.2 Boden und Geologie

Die BDF befindet in einem leicht ansteigenden, trockenen Bereich. Hier ist eine Podsol-Braunerde aus sandiger Fließerde über Geschiebesand entstanden.



Über dem schwach schluffigen, stark humosen Sand des Oberbodens hat sich ein etwa 5 cm mächtiger Moder gebildet, dessen Feinhumusanteil stark schwankt. Das Material des Of- und Oh-Horizontes ist stark zersetzt, sehr stark sauer (pH-Wert 3,9 (CaCl₂), Aluminium-Pufferbereich) und von einem mittleren bis weiten C/N-Verhältnis von etwa 20/1. Der 4 cm mächtige Ä-Horizont mit einer sehr geringen Lagerungsdichte ist ebenfalls sehr stark sauer (pH-Werte 3,5 (CaCl₂), Aluminium-Pufferbereich) und von einer geringen Humusqualität (C/N-Verhältnis 22).

Abbildung 3.47: Podsol-Braunerde aus sandiger Fließerde über Geschiebesand (Leitprofil)

Der Unterboden aus sandiger Fließerde besteht bis in etwa einem Meter aus einem Gemisch aus schwach schluffigem bis schwach lehmigem Sand. Darunter steht der meist mittelsandige Geschiebesand an.

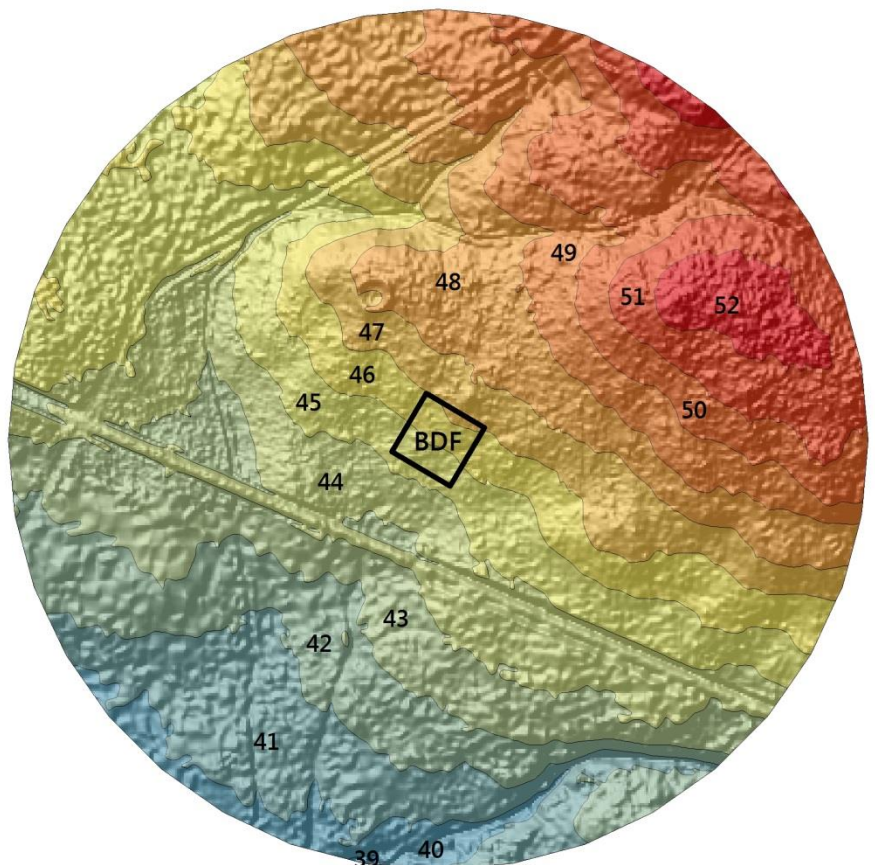


Abbildung 3.48: Relief in der Umgebung der BDF

3.10.3 Bewirtschaftung

Der Buchenwald besteht aus gut 100-jährigen Buchen, von denen ab und zu einzelne Stämme entnommen werden. Bis jetzt hat sich unter dem Altbestand noch keine nennenswerte Naturverjüngung bilden können.



Abbildung 3.49: Der letzte Baum wurde bereits vor einiger Zeit gefällt

3.10.4 Klima, Witterung und Wasserhaushalt

Die Jahresdurchschnittstemperatur beträgt 8,2°C. Die Jahresniederschläge von 762 mm entsprechen in etwa den Durchschnittswerten für ganz Schleswig-Holstein.

Zeitraum	Temperatur (°C)	Niederschlag (mm)	BKF
1961-1990	8,2	762	
2013-2018	9,8	755	2,9
2018	10,4	529	1,0

Tabelle 3.17: Klima/Witterung und Wasserhaushalt zu verschiedenen Zeiträumen, Temperatur in °C im Jahresdurchschnitt, Niederschlag in mm als Jahressumme, bodenkundliche Feuchtestufe (BKF), Grundwasser in cm

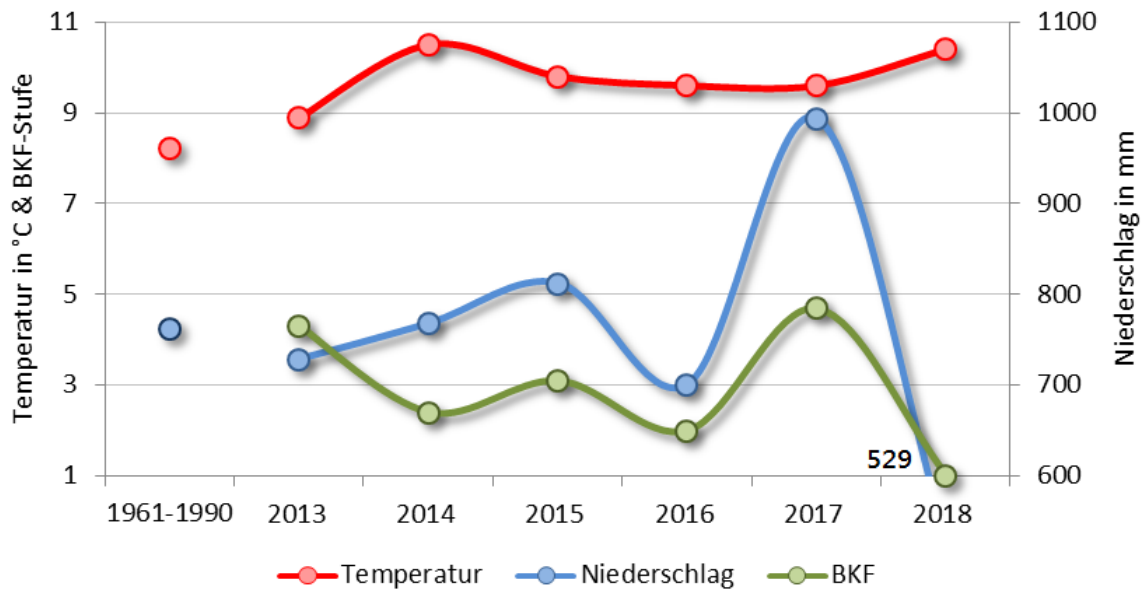


Abbildung 3.50: Temperatur, Niederschlag und bodenkundliche Feuchtestufe an der BDF32

Der sandige Standort liegt in einem flach ansteigenden Bereich des Moränenkomplexes, der in etwa 200 m Entfernung von einem etwa 10 m niedriger gelegenen Bach entwässert wird. Die effektive Durchwurzelung reicht bis 75 cm. Von der Feldkapazität von 181 mm sind 131 mm pflanzenverfügbar. Eine Wassernachlieferung aus dem Grundwasser gibt es nicht. Vom langjährigen Jahresniederschlag (1961-1990) von 762 mm verbleiben als klimatische Wasserbilanz 328 mm. Von Mai bis August ist in der Regel mit einem mäßigen Wasserbilanzdefizit zu rechnen, wohingegen der Standort im Winter reichlich mit Wasser versorgt ist. Die bodenkundliche Feuchtestufe ist in der Regel als schwach trocken bis schwach frisch (BKF 3-4) anzusprechen.

Die letzten fünf Jahre (2012-2017) waren 1,6°C wärmer als im Schnitt der Jahre 1961 bis 1990. Die Niederschläge bewegten sich auf vergleichbarem Niveau, so dass bei den deutlich gestiegenen Temperaturen der Standort trockener geworden ist und als schwach trocken einzustufen war (BKF3).

Das Jahr 2018 zeichnete sich bei einer noch einmal um 0,6°C gestiegenen Jahresmitteltemperatur und 30% weniger Niederschlägen durch Hitze und Trockenheit aus. Aufgrund des sandigen Substrates trocknete der Standort aus (BKF1).

3.10.5 Vegetationskunde

Vegetationskundlich lässt sich der Buchen-Hallenwald-Bestand weiterhin einer verarmten Ausbildung eines Drahtschmielen-Buchenwaldes (*Avenello-Fagetum*) zuordnen. Dieser Waldtyp findet sich auf bodensauren, oberflächlich ausgehagerten Standorten der Alt- und Jungmoränenlandschaft Norddeutschlands. Die Baumschicht wird nutzungsbedingt von der Rot-Buche (*Fagus sylvatica*) do-

minierte. Die Fichte (*Picea abies*) ist als Einzelexemplar vertreten. Die nur spärlich entwickelte Krautschicht wird vorwiegend von der Charakterart der Gesellschaft, der Draht-Schmiele (*Deschampsia flexuosa*) sowie der Zweiblättrigen Schattenblume (*Maianthemum bifolium*) aufgebaut. Ferner ist die Pillen-Segge (*Carex pilulifera*) weiterhin mit mehreren Horsten vertreten. Der Berg-Ahorn (*Acer pseudoplatanus*) tritt vereinzelt auf. Es treten Stickstoffzeiger wie z. B. die Große Brennnessel (*Urtica dioica*) oder das Kletten-Labkraut (*Galium aparine*) auf. Ferner wühlen Wildschweine ab und zu auf der BDF.

3.10.6 Bodenzoologie

Auf dieser BDF wurden 2018 keine Regenwürmer nachgewiesen. Die Abundanz der Kleinringelwürmer war im Vergleich mit der Referenz als extrem niedrig einzustufen, ihre Artenzahl dagegen als überdurchschnittlich (BEYLICH & GRAEFE 2009). Die Lebensgemeinschaft wurde von Starksäure- und Säurezeigern dominiert. Schwachsäurezeiger kamen nur ganz vereinzelt vor. Feuchtezeiger traten nicht auf. Die Siedlungsdichte der Kleinringelwürmer erreichte 2018 weniger als ein Viertel der Werte der ersten drei Untersuchungsjahre. Ursache für den Populationseinbruch beider Tiergruppen ist die ausgeprägte Trockenheit im Jahr 2018. Die Bodenkundliche Feuchtestufe lag zwischen stark und mittel trocken und damit niedriger als sonst üblicherweise an diesem Standort und auch niedriger als bei den meisten anderen 2018 untersuchten Standorten.

Die Gesamtartenzahl der Kleinringelwürmer war trotz der geringen Siedlungsdichte nicht signifikant niedriger als bei den Voruntersuchungen. Veränderungen bei den Dominanzverhältnissen der Strategietypen gab es im Vergleich zu den Voruntersuchungen nicht. Hinsichtlich der Reaktionszeiger war eine leichte prozentuale Zunahme der Mäßigsäurezeiger erkennbar, die aber vor dem Hintergrund des trockenheitsbedingten Rückgangs vieler Arten nicht überwertet werden sollte. Das Fehlen endogäischer und anecischer Regenwürmer sowie der hohe Anteil charakteristischer Starksäurezeiger kennzeichnen die Zersetzergesellschaft weiterhin als typische Ausprägung des **Acheto-Cognettietums**. Eine Entwicklungstendenz zu einem anderen Gesellschaftstyp ist nicht zu erkennen.

3.10.7 Bodenmikrobiologie (Charakterisierung aus 2016)

Humusaufgabe

Die Humusaufgabe der BDF32 weist von allen Waldstandorten den niedrigsten Gehalt der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$) auf und abgesehen vom Nadelwaldstandort auch den niedrigsten Gehalt des mikrobiellen Stickstoffs ($N_{mic-CFE}$). Auch die Basalatmung (R_{B-Hein}) und die Argininammonifikation (ARG) sowie der mikrobielle Quotient ($Q_{mic-CFE}$) sind durch unterdurchschnittlich hohe Werte gekennzeichnet. So findet sich auf dieser BDF auch der niedrigste metabolische Quotient ($Q_{met-CFE}$) aller Waldhumusaufgaben.

In der Humusaufgabe ist der C_{org} -Gehalt 6-mal, der N_t -Gehalt 6-mal und der N_{min} -Gehalt 9-mal höher als im Mineraloberboden. Bei den bodenmikrobiologischen Parametern sind die Werte in der Humusaufgabe für $C_{mic-CFE}$ 3-mal, $N_{mic-CFE}$ 3-mal, R_{B-Hein} 8-mal, ARG 13-mal, $Q_{mic-CFE}$ 0,5-mal und $Q_{met-CFE}$ 3-mal höher als im Mineraloberboden.

Mineraloberboden

Die BDF32 besitzt im Mineraloberboden den niedrigsten Gehalt der mikrobiellen Biomasse ($C_{\text{mic-CFE}}$) im Vergleich der Laubwald-BDF. Dennoch gilt die Einstufung des $C_{\text{mic-CFE}}$ -Gehaltes nach Quirin und Emmerling (2004) als sehr hoch. Auch der Gehalt des mikrobiellen Stickstoffs (N_t) und die Basalatmung ($R_{\text{B-Hein}}$) sind geringer als der Durchschnitt aller Wald-BDF. Die Argininammonifikation (ARG) und der metabolische Quotient ($Q_{\text{met-CFE}}$) sind sehr niedrig, der mikrobielle Quotient ($Q_{\text{mic-CFE}}$) dagegen sehr hoch.

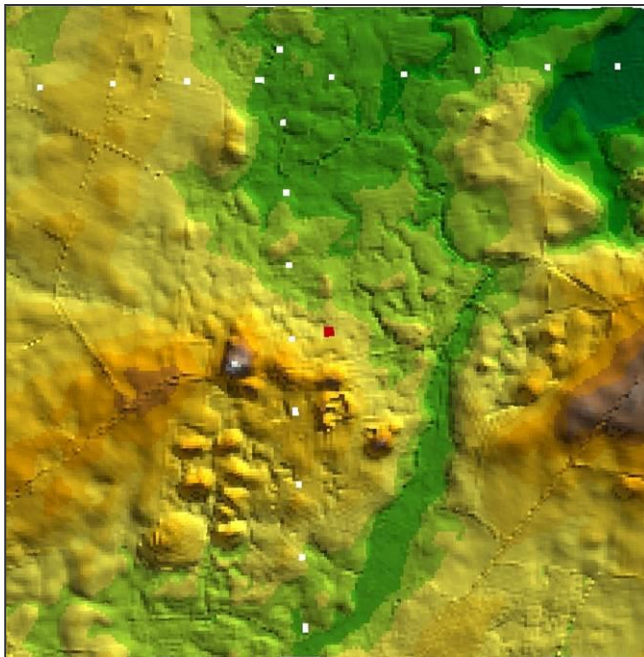
3.11 BDF39 Hevenbruch



3.11.1 Landschaft

Die BDF39 liegt im Stormarner Endmoränengebiet, einem Teil des Östlichen Hügellandes.

Die BDF liegt 46 m über NN auf einem leicht in Wellen nach Norden abfallendem Hang. Vierhundert Meter östlich verläuft ein etwa 5 m niedriger gelegener Bach. Die Moränen der Umgebung bestehen überwiegend aus lehmig-sandigen Fließerden über Geschiebelehm und -mergeln, woraus sich in der Regel Braunerden, Parabraunerden und Pseudogleye gebildet haben, die in Senken in Gleye und Niedermoore übergehen. Die sandigen, terrestrischen Böden besitzen unter Wald eine Auflage aus meist feinhumusarmem bis mullartigem Moder über schluffigen bis lehmigen Sanden, deren pH-Werte von meist 3,5-4,0 (CaCl₂) sich im sehr stark saurem bzw. Aluminium-Puffer-Bereich befinden.



Der Wald ist in dem relativ stark reliefierten Moränenkomplex unter Naturschutz gestellt worden, d. h. er wird nicht mehr genutzt. Die Freiflächen im direkten Umfeld des Waldes bleiben meist dem Ackerbau vorbehalten. Die Senken werden meist als Grünland genutzt (ALK, Stand 2011).

Abbildung 3.51: Lage der BDF (rotes Quadrat) im Gelände (Höhenkarte von 32-68 m über NN)

3.11.2 Boden und Geologie

Die BDF befindet in einem leicht ansteigenden, trockenen Bereich, in den hier und da kleine nassere Senken eingeschaltet sind. Hier ist eine Pseudogley-Braunerde aus sandiger Fließerde über Geschiebelehm und -mergel entstanden.

Über dem mittel lehmigen, stark humosen Sand des Oberbodens hat sich ein etwa 3 cm mächtiger feinhumusarmer bis mullartiger Moder gebildet. Das Material des Of- und Oh-Horizontes ist stark zersetzt, extrem sauer (Aluminium-Pufferbereich) und besitzt ein mittleres C/N-Verhältnis. Der 4 cm

mächtige Ä-Horizont mit einer sehr geringen effektiven Lagerungsdichte ist sehr stark sauer (Aluminium-Pufferbereich) und ein weites C/N-Verhältnis.



Die sandige Fließerde reicht bis in etwa 60 cm Tiefe, die im untersten Teil teilweise staunass ist. Darunter schließt sich bis etwa 150 cm der Geschiebelehm aus stark lehmigem Sand bis stark sandigem Lehm an, über dem sich das Wasser staut. Ab 150 cm Tiefe geht er in den Geschiebemergel über.

Abbildung 3.52: Pseudogley-Braunerde aus sandiger Fließerde über Geschiebelehm und -mergel (Leitprofil)

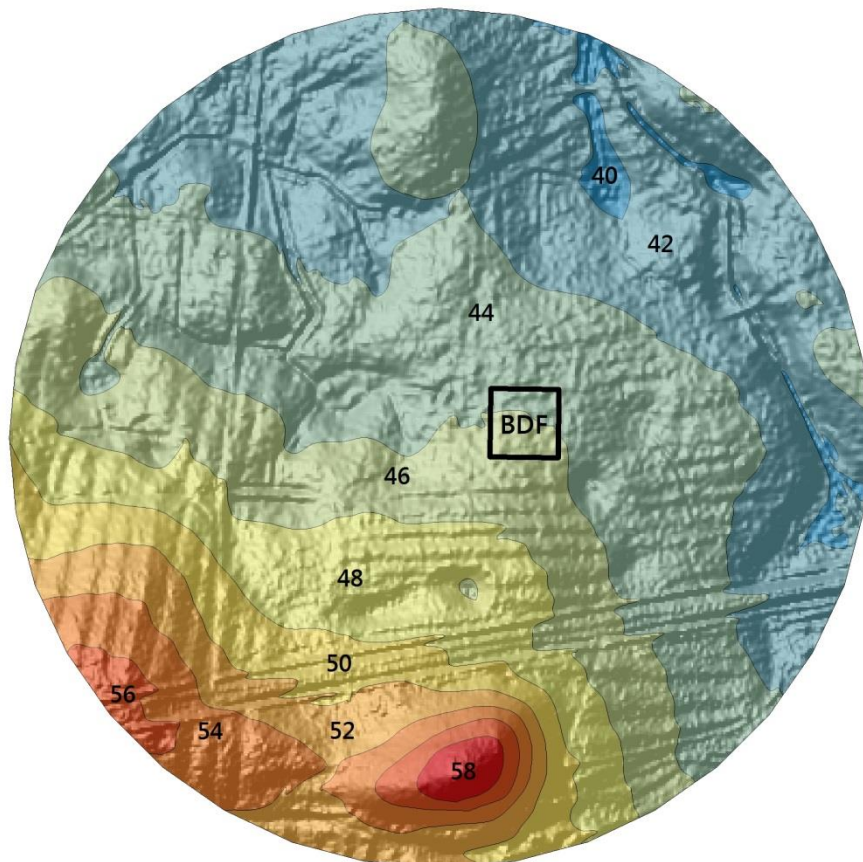


Abbildung 3.53: Relief in der Umgebung der BDF

3.11.3 Klima, Witterung und Wasserhaushalt

Die Jahresdurchschnittstemperatur beträgt 8,3°C. Die Jahresniederschläge von 682 mm lassen im Gegensatz zur BDF32 schon den beginnenden Regenschatten hinter den ersten höheren Moränen in Schleswig-Holstein erkennen.

Der sandige Standort liegt an einem flach ansteigenden Hang, der in etwa 200 m Entfernung von einem etwa 10 m niedriger gelegenen Bach entwässert wird. Die effektive Durchwurzelung reicht bis 75 cm. Von der Feldkapazität von 181 mm sind 131 mm pflanzenverfügbar. Eine Wassernachlieferung aus dem Grundwasser gibt es nicht. Vom langjährigen Jahresniederschlag (1961-1990) von 682 mm verbleiben als klimatische Wasserbilanz 253 mm. Von Mai bis August ist in der Regel mit einem mäßigen Wasserbilanzdefizit zu rechnen, wohingegen der Standort im Winter reichlich mit Wasser versorgt ist. Die bodenkundliche Feuchtestufe ist in der Regel als schwach frisch bis schwach trocken (BKF 3-4) anzusprechen.

Zeitraum	Temperatur (°C)	Niederschlag (mm)	BKF
1961-1990	8,3	682	
2013-2018	9,7	683	2,6
2018	10,2	480	1,0

Tabelle 3.18: Klima/Witterung und Wasserhaushalt zu verschiedenen Zeiträumen, Temperatur in °C im Jahresdurchschnitt, Niederschlag in mm als Jahressumme, bodenkundliche Feuchtestufe (BKF), Grundwasser in cm

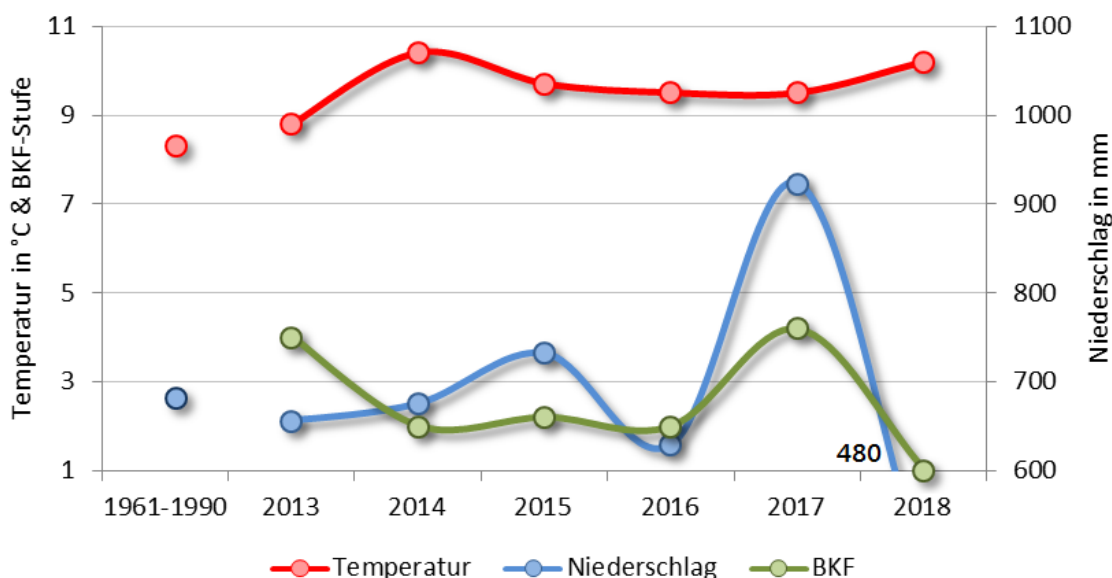


Abbildung 3.54: Temperatur, Niederschlag und bodenkundliche Feuchtestufe an der BDF39

Die letzten fünf Jahre waren 1,4°C wärmer als im Schnitt der Jahre 1961 bis 1990 bei etwa gleichbleibenden Jahresniederschlägen. Das Wasserbilanzdefizit in den Monaten Mai bis Juli war aufgrund der höheren Temperaturen stärker ausgeprägt, so dass der Standort in Bezug auf die klimatische Wasserbilanz trockener geworden ist und als schwach trocken einzustufen ist (BKF3).

Das Jahr 2018 zeichnete sich bei einer noch einmal um 0,5°C gestiegenen Jahresmitteltemperatur und 30% weniger Niederschlägen durch Hitze und Trockenheit aus. Das sandig-lehmige Substrat des Bodens konnte den Standort trotz des höheren Wasserrückhaltevermögens nicht vor einer Austrocknung bewahren (BKF1).

3.11.4 Bewirtschaftung

Der Buchenwald besteht aus gut 100-jährigen Buchen, die aber seit etwa 20 Jahre nicht mehr genutzt werden. Obwohl einige Bäume gefallen sind, hat sich bis jetzt unter dem Altbestand erst kaum Naturverjüngung bilden können. Solange keine weiteren größeren Bäume fallen, wird das Kronendach immer dichter werden und immer weniger Licht durchlassen, so dass die Bodenvegetation weiter zurückgehen dürfte.

3.11.5 Vegetationskunde

Der Wald entspricht einem Perlgras-Buchenwald (*Melico-Fagetum*) auf Assoziationsebene. Nur in der südöstlichen Ecke der BDF ist eine Krautschicht vorhanden. Die Krautschicht ist aufgrund der bereits deutlichen Beschattung nur sehr schwach ausgebildet. Die Pflanzengesellschaft zeigt einen frischen, mäßig sauren und mäßig stickstoffreichen Standort an.



Abbildung 3.55: BDF39 bei der Probenentnahme am 17.04.2013

3.11.6 Bodenzoologie

Es wurden drei Regenwurmart gefunden, von denen eine zum endogäischen Lebensformtyp gehörte, die übrigen zwei zum epigäischen. Im Vergleich zum Referenzbereich für Forststandorte im pH-Bereich $< 3,4$ nach BEYLICH & GRAEFE (2009) war die Regenwurmbundanz unterdurchschnittlich, die Biomasse jedoch im mittleren Bereich und die Artenzahl der Regenwürmer überdurchschnittlich. Die Abundanz der Kleinringelwürmer lag sehr niedrig bei überdurchschnittlicher Artenzahl. Die hier herangezogene Standortkategorie für Rohhumus- und Moderstandorte entspricht jedoch nicht ganz der auf der BDF vorliegenden Situation, da in Teilbereichen der BDF ein F-Mull entwickelt ist. Das Artenspektrum umfasste daher die gesamte Bandbreite von Starksäure- bis zu Schwachsäurezeigern, wobei die Starksäure- und Säurezeiger überwogen. Feuchtezeiger kamen nicht in nennenswertem Umfang vor.

Die Siedlungsdichte Regenwürmer erreichte 2018 nur etwa 13 % des Wertes der Voruntersuchung. Wie bei den bisherigen Untersuchungen war der Teilbereich der BDF mit F-Mull durch das Auftreten endogäischer Regenwürmer gekennzeichnet. Allerdings war im Gegensatz zu den Voruntersuchungen das Vorkommen der Regenwürmer insgesamt im Wesentlichen auf diesen Bereich der BDF konzentriert. Auch die Siedlungsdichte der Kleinringelwürmer erreichte in den früheren Untersuchungsjahren erheblich höhere Werte. Im Vergleich zu den Voruntersuchungen sind einige Arten weggefallen oder stark zurückgegangen. Veränderungen bei den Dominanzverhältnissen der Strategietypen und Reaktionszeigergruppen gab es jedoch kaum. Ursache für den Populationsrückgang beider Tiergruppen ist die ausgeprägte Trockenheit im Jahr 2018. Die Bodenkundliche Feuchtestufe lag zwischen stark und mittel trocken und damit niedriger als sonst üblicherweise an diesem Standort und auch niedriger als bei den meisten anderen 2018 untersuchten Standorten.

Der auf der Fläche ausgebildeten Vergesellschaftung zweier Humusformen entsprechend zeigt die Zersetzergesellschaft seit der Erstuntersuchung ein **Mosaik aus Achaeto-Cognettietum und Stercuto-Lumbricetum**. Das Vorkommen von Feuchtezeigern in den Bereichen mit F-Mull deutet auf hier etwas feuchtere und damit für Anneliden insgesamt etwas günstigere Bedingungen hin. Durch die Vergesellschaftung zweier Gesellschaftstypen ist die vergleichsweise hohe Artenzahl zu erklären. Trends zu den Veränderungen der Flächenanteile des Stercuto-Lumbricetums in Kombination mit Mull-Humusformen lassen sich anhand der erst drei Untersuchungstermine und angesichts des dominanten Einflusses der Trockenheit im Untersuchungsjahr 2018 nicht erkennen.

3.11.7 Bodenmikrobiologie (Charakterisierung aus 2016)

Humusaufgabe

Der Gehalt der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$) in der Humusaufgabe der BDF39 ist unterdurchschnittlich hoch und lediglich leicht höher als am Nadelwaldstandort. Der Gehalt des mikrobiellen Stickstoffs ($N_{mic-CFE}$) bildet dagegen den Mittelwert der Wald-BDF ab. Die Basalatmung (R_{B-Hein}) ist leicht unterdurchschnittlich, die Argininammonifikation (ARG) zeigt negative Werte, d.h. der durch die Mineralisation freigesetzte Stickstoff wird trotz des hohen N_{min} -Gehaltes in der Humusaufgabe sofort durch Assimilation wieder immobilisiert, so dass die Aufnahme die Abgabe von Ammonium übersteigt. Die BDF39 war die einzige BDF mit negativen Ammonifikationsraten. Der mikrobielle Quotient ($Q_{mic-CFE}$) ist nur leicht unterdurchschnittlich, der metabolische Quotient ($Q_{met-CFE}$) hingegen der zweithöchste.

In der Humusaufgabe ist der C_{org} -Gehalt 5-mal, der N_t -Gehalt 5-mal, das C_{org}/N_t -Verhältnis 1,1-mal und der N_{min} -Gehalt 9-mal höher als im Mineraloberboden. Bei den bodenmikrobiologischen Parametern sind die Werte in der Humusaufgabe für $C_{mic-CFE}$ 3-mal, $N_{mic-CFE}$ 4-mal, R_{B-Hein} 11-mal, ARG 0,4-mal, $Q_{mic-CFE}$ 0,5-mal und $Q_{met-CFE}$ 4-mal höher als im Mineraloberboden.

Mineraloberboden

Der Gehalt der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$) im Mineraloberboden der BDF39 wird nach Quirin und Emmerling (2004) als sehr hoch eingestuft. Während der Gehalt des mikrobiellen Stickstoffs ($N_{mic-CFE}$) überdurchschnittlich hoch ist, entspricht die Basalatmung (R_{B-Hein}) dem Mittelwert aller Waldstandorte. Die Argininammonifikation (ARG) ist auch im Mineralboden negativ. Der mikrobielle Quotient ($Q_{mic-CFE}$) ist als sehr hoch einzustufen, der metabolische Quotient ($Q_{met-CFE}$) ist hingegen sehr niedrig.

3.12 BDF24 Bornhöved



3.12.1 Landschaft

Die BDF24 liegt 2,8 km nordöstlich von Bornhöved am Belauer See im Östlichen Hügelland. Die BDF liegt 45m über NN auf einem Abhang zum Belauer See, der nur 150 m entfernt und 15 m tiefer liegt. Die Moränen bestehen in diesem Raum fast ausschließlich aus Geschiebesand, in den hier und da Geschiebelehm eingestreut ist. Die Moränen selbst sind von Seen oder Niedermooren umgeben. Aus den Geschiebesanden sind bei trockenen Verhältnissen fast ausschließlich Braunerden entstanden, aus den Geschiebelehmen Parabraunerden (Abbildung 3.56). An einigen wenigen Hängen sind Kolluvisole und in den Senken einige Gleye und sonst in der Regel Niedermoore zu finden.

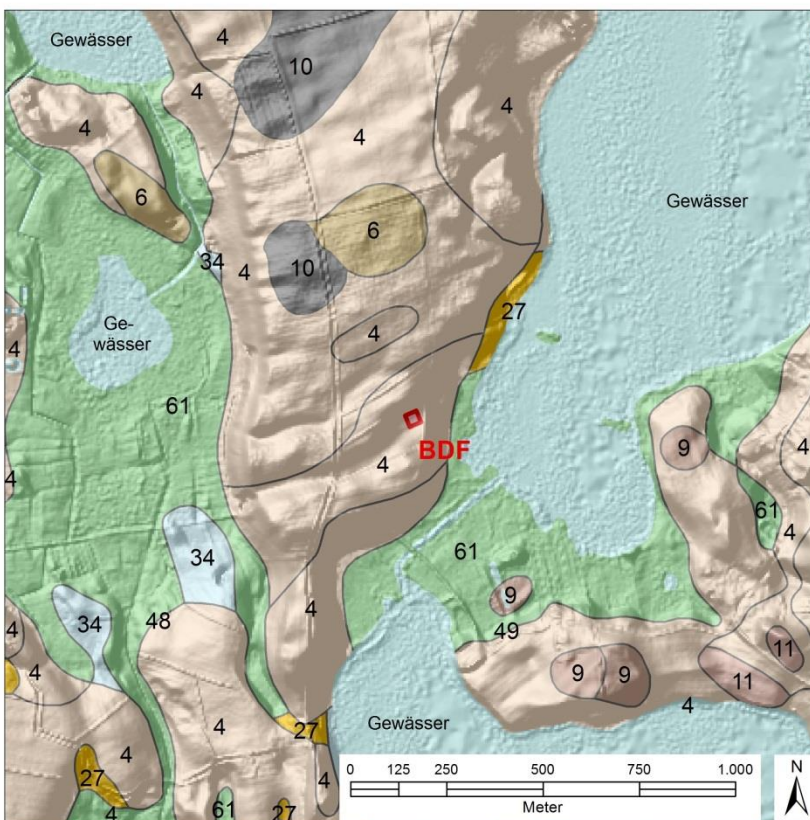


Abbildung 3.56: Bodenformen im Umland der BDF24 (Legende im Anhang)

Die offenen Flächen der Moränen werden nach dem ATKIS® Basis-DLM, Stand 2016, zum Teil als Grünland, meist aber als Acker genutzt, oft in einer für das Östliche Hügelland typischen Fruchtfolge aus Winterraps-Winterweizen-Wintergerste, inzwischen aber auch verstärkt für den Maisanbau. Auf einigen kleinen Schlägen kommt eine vielseitige Fruchtfolge zur Anwendung. Das Grünland wird häufig extensiv betrieben. Sonst werden die Moränen auf weniger fruchtbaren Böden von einem standortgerechten Buchenwald eingenommen. Die Senken werden meist als intensives Grünland genutzt.

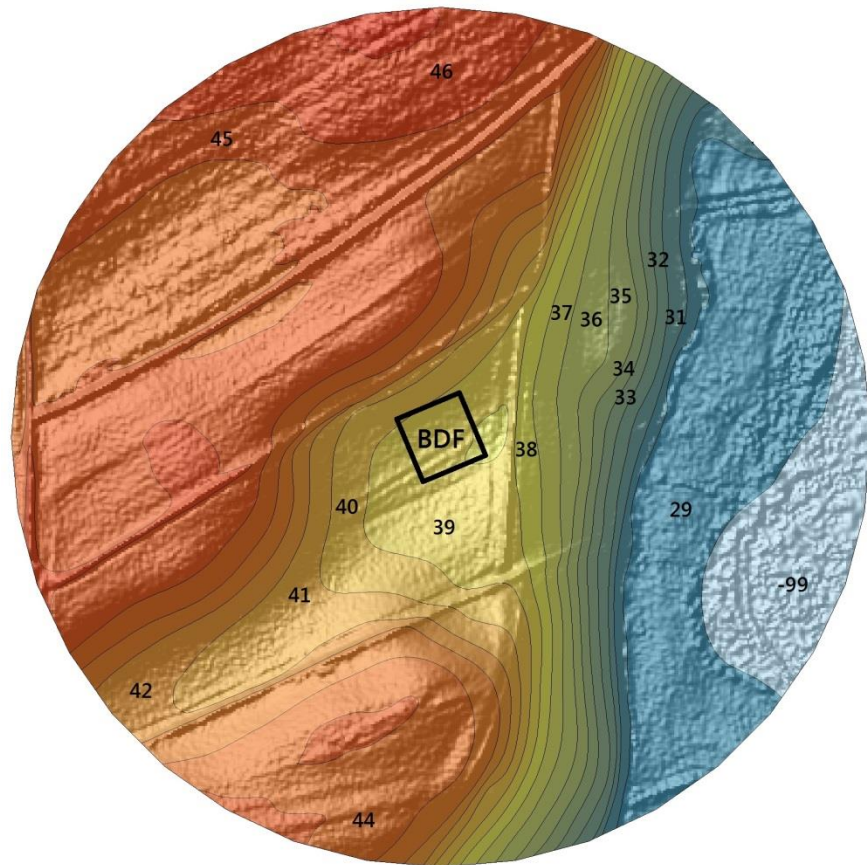


Abbildung 3.57: Relief in der Umgebung der BDF

3.12.2 Boden und Geologie

Die typische Braunerde ist aus einer 46 cm mächtigen Geschiebedecksandschicht über Schmelzwassersand entstanden.



Ihr humoser Oberboden aus schwach schluffigem Sand ist mit 1,6-1,8% schwach humos. Die Humusform ist Mull mit einem für Mull typischen C/N-Verhältnis von 9-12. Die pH-Werte (CaCl₂) liegen für Ackerböden mit 4,2-4,8 im stark bis mäßig sauren Bereich und im Austauscher-Pufferbereich. Der Geschiebedecksand geht nach 46 cm in einen verbraunten Unterboden aus feinsandigem Mittelsand über. Ab 154 cm folgt das schwach verwitterte Ausgangsgestein aus schwach schluffigem bis lehmigem Sand.

Abbildung 3.58: typische Braunerde aus Geschiebedecksand über Schmelzwassersand (Leitprofil)

Der sandige Standort liegt auf einem Abhang, der nach etwa 30 m sehr steil zum Belauer See abfällt. Die effektive Durchwurzelung reicht nur bis 64 cm. Von der Feldkapazität von 115 mm sind 88 mm pflanzenverfügbar, welches nicht durch Grundwasser ergänzt werden kann.

3.12.3 Klima, Witterung und Wasserhaushalt

Die Jahresdurchschnittstemperatur beträgt 8,2 °C (1961-1990). Die Jahresniederschläge von 773 mm sind durchschnittlich für Schleswig-Holstein (1961-1990).

Zeitraum	Temperatur (°C)	Niederschlag (mm)	BKF
1961-1990	8,2	773	
2013-2018	9,6	795	3,4
2018	10,1	542	1,0

Tabelle 3.19: Klima/Witterung und Wasserhaushalt zu verschiedenen Zeiträumen, Temperatur in °C im Jahresdurchschnitt, Niederschlag in mm als Jahressumme, bodenkundliche Feuchtestufe (BKF)

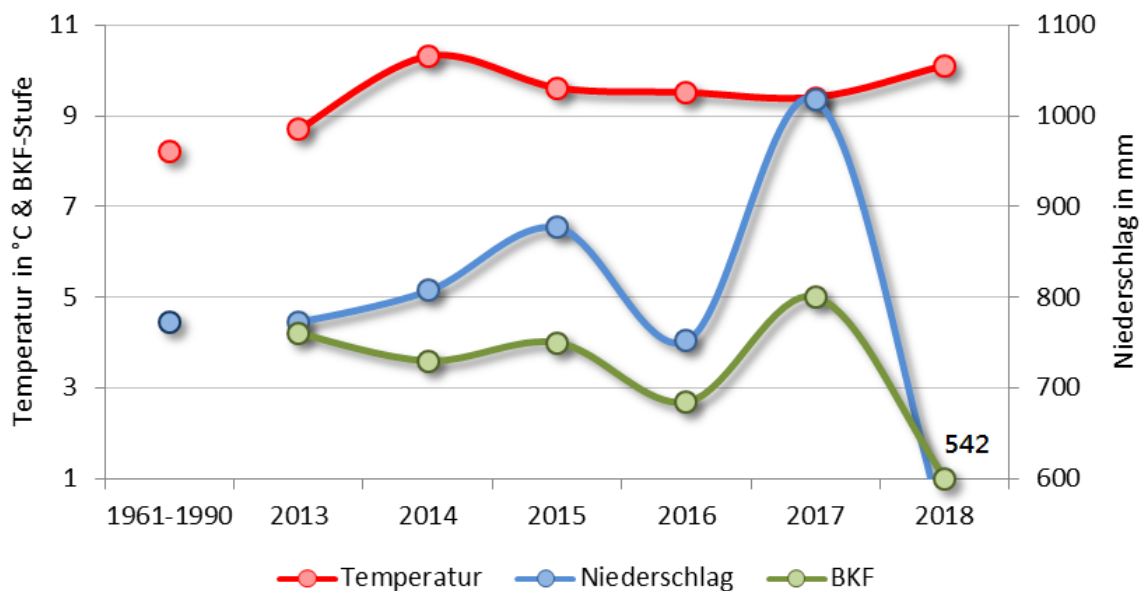


Abbildung 3.59: Temperatur, Niederschlag und bodenkundliche Feuchtestufe an der BDF24

Im Zeitraum 2013-2018 lag die Jahresdurchschnittstemperatur 1,4 °C höher als im Durchschnitt der Jahre 1961-1990 bei vergleichbaren Niederschlägen. Der Standort war als schwach trocken bis schwach frisch einzustufen (BKF3-4). Zuletzt schwankten die Niederschläge und die bodenkundliche Feuchtestufe stark.

Das Hitze- und Dürrejahr 2018 war durch einen heißen und extrem trockenen Sommer gekennzeichnet. Der Jahresniederschlag lag um 250 mm unter dem Durchschnitt der Jahre 2013-2018, wodurch der Standort stark trocken wurde (BKF1, siehe auch Abbildung 3.59).

3.12.4 Bodennutzung und Bewirtschaftung

Auf diesem Standort wurde bis 1996 Mais in Monokultur angebaut. Von 1997 bis 2008 wechselten sich bei einem Brachejahr Sommer-, Wintergetreide und Mais ab. Seit 2009 wird verstärkt Grünland in Form von Wiese oder Mähweide eingeschaltet. Die letzten 5 Jahre waren von einer Grünlandwirtschaft geprägt (Tabelle 3.22).



Abbildung 3.60: Blick auf die BDF während der Probenentnahme vom 09.04.2013

Der Boden wurde unter ackerbaulicher Nutzung bis nur unregelmäßig gepflügt, das letzte Mal 2012 und 2013, flachere Bodenbearbeitung fand nur selten statt. Seit 2009 wird regelmäßig etwa 30 m³ Rindergülle in verschiedenen Teilmengen und zu verschiedenen Terminen ausgebracht. Die Mineraldüngung, der Pflanzenschutz und der Ertrag bewegten sich auf einem niedrigen Niveau. Die letzte Kalkung fand 1997 statt!

Die Grünlandbewirtschaftung der letzten 5 Jahre bestand hauptsächlich in einer Schnittnutzung. Eine extensive Beweidung fand nur in 2017 und 2018 und nur nach dem letzten Schnitt statt.

In der Regel wurde Anfang April das Grünland im Rahmen der Pflege abgeschleppt und angewalzt. Der erste Schnitt für Grassilage wurde Anfang Mai, manchmal auch erst Anfang Juni eingebracht. Die Regel waren 2-3 Schnitte pro Jahr. Nach jedem Schnitt wurde Gülle gestreut, im Jahr insgesamt 30 m³ Rindergülle, was einer Düngung von gut 100 kg N/ha oder gut 40 kg P₂O₅/ha entsprach. In 2017 und 2018 fand eine extensive Beweidung mit Schafen oder Rindern statt. Pflanzenschutzmittel wurden nicht eingesetzt.

Tabelle 3.20: Anbausysteme und Bewirtschaftungsmaßnahmen zu verschiedenen Zeiträumen

Jahr	Kultur	Besatzdichte (GVE/ha)	Weidedauer (Tage)	Schnitte (Anzahl)	Kulturertrag (dt/ha), * = m ³ /ha	Stickstoff (kgN/ha)	Phosphor (kgP ₂ O ₅ /ha)	Kalkung (kgCaO/ha)	Gülle (m ³ /ha)	Erntereste (Anzahl/ahr)	wendende Bodenbearbeitung (Anzahl)	tiefe Bodenbearbeitung (Anzahl)	mitteltiefe Bodenbearbeitung (Anzahl)	flache Bodenbearbeitung (Anzahl)	Pflanzenschutz (Spritztermine)	Pflanzenschutz2 (Zahl einges. PS-Mittel)
1991 - 2018	erst Maismonokultur, dann vielseitiger Ackerbau, seit 2014 Grünland	0,2	4	0,7	41	99	35	74	16	0,1	0,5	0,5	0,1	0,2	0,5	0,5
2004 - 2018	vielseitiger Ackerbau, seit 2014 Grünland	0,3	7	1,2	56	108	33	0	22	0,0	0,3	0,3	0,1	0,3	0,5	0,5
2013 - 2018	seit 2014 Grünland	0,8	17	2,2	31	108	42	0	30	0,0	0,3	0,3	0,0	0,5	0,2	0,2
2018	Mähweide	1,0	90	2,0	30	72	28		20							

Die Bewirtschaftung im Jahr 2018 entsprach nicht wesentlich von den letzten 5 Jahren ab. Das Grünland wurde als Mähweide bewirtschaftet. Der erste Schnitt fand relativ spät fast schon Mitte Juni statt. Danach wurden 20 m³/ha Rindergülle ausgebracht. Ab August wurde der Schlag extensiv von Jungvieh beweidet. Ende Oktober fand noch ein zweiter, wenig ertragreicher Schnitt statt.

Nach der Winterruhe konnte die BDF Ende Februar noch vor den ersten Bewirtschaftungsmaßnahmen in 2019 beprobt werden.

Tabelle 3.21: Bewirtschaftungsmaßnahmen in 2018 und Anfang 2019

Jahr	Datum	Maßnahme	Detail	Wert	Einheit
2018	12.06.	Futterwerbung	Grassilage	20	dt/ha
	13.06.	organische Düngung	Rindergülle	20	m ³ /ha
	August	Beweidung	Jungvieh	0,5	GVE/ha
	23.10.	Futterwerbung	Grassilage	10	dt/ha
2019	keine Maßnahmen !				
	25.02.	Probenentnahme zur bodenmikrobiologischen Untersuchung			

Tabelle 3.22: Bewirtschaftung seit 1990, jährliche Kennwerte für die BDF24

Jahr	Kultur	Besatzdichte (GVE/ha)	Weidedauer (Tage)	Schnitte (Anzahl)	Kulturertrag (dt/ha), * = m ³ /ha	Stickstoff (kg N/ha)	Phosphor (kg P ₂ O ₅ /ha)	Kalkung (kg CaO/ha)	Gülle (m ³ /ha)	Erntereste (Anzahl/ahr)	wendende Bodenbearbeitung (Anzahl)	tiefe Bodenbearbeitung (Anzahl)	mitteltiefe Bodenbearbeitung (Anzahl)	flache Bodenbearbeitung (Anzahl)	Pflanzenschutz (Spritztermine)	Pflanzenschutz2 (Zahl einges. PS-Mittel)
1990	Mais					161	182		37		1	1			1	1
1991	Mais					373	299		50		1	1			1	1
1992	Mais	keine Einträge														
1993	Mais															
1994	Mais															
1995	Mais															
1996	Mais															
1997	Hafer				40	90		1920			2	2				
1998	Roggen				40					1	1	1			1	1
1999	Wintergerste				40	90	20			1						
2000	Ackerbrache															
2001	Hafer				30	149					1	1			2	2
2002	Mais				35	94	61		15		1	1			1	1
2003	Hafer				52	167	28		20		2	2			2	2
2004	Wintergerste				60	146									2	2
2005	Mais				35	148	82		30		1	1			2	2
2006	Zuckerrüben	keine Einträge														
2007	Roggen				40	122							1		1	1
2008	Wintergerste				45	122					1	1	1	1	1	1
2009	Mähweide				70	108	42		30							
2010	Wiese			2		108	42		30							
2011	Wiese			3		108	42		30							
2012	Silomais				400	108	42		30		1	1				
2013	Hafer				30	108	42		30		2	2		3	1	1
2014	Wiese			3		108	42		30							
2015	Wiese			3	40	108	42		30							
2016	Wiese			3	45	108	42		30							
2017	Mähweide	4,0	14	2	40	144	56		40							
2018	Mähweide	1,0	90	2	30	72	28		20							

3.12.5 Vegetationskunde

Es wurden in den Jahren 1991, 1994, 1997 und 2005 pflanzensoziologische Untersuchungen durchgeführt. 1991 und 1994 konnte eine Fadenhirse-Gesellschaft (*Digitarium ischaemi*) gefunden werden. 1997 und 2005 ließ sich die Ackerbegleitflora aufgrund der Artenarmut keiner Pflanzengesellschaft eindeutig zuordnen. Die Zeigerwerte der auftretenden Arten zeichnen die BDF tendenziell als frischen und stickstoffreichen Standort aus. Vereinzelt fanden sich jedoch auch Arten, die vorwiegend auf nährstoffarmen Sandböden zu finden sind.

3.12.6 Bodenzoologie

1992, 1998, 2005 und 2015 wurden bodenzoologische Untersuchungen durchgeführt. Die BDF24 ist seit der Einrichtung zwar überwiegend als Acker, aber phasenweise nach Graseinsaat auch als Grünland genutzt worden. 2014 und 2015 wurde nicht gepflügt. Auf sandigen Ackerstandorten ist generell eine geringere Besiedlung mit Regen- und auch Kleinringelwürmern zu erwarten als auf lehmigen Ackerstandorten oder Grünland, denn wendende Bodenbearbeitung hat auf sandigen Ackerflächen durch deren geringe Strukturstabilität besonders nachteilige Wirkungen auf die Bodenfauna.

Die Aktivität der Regenwürmer hat auf der BDF24 seit der Erstuntersuchung zugenommen. Die Gesamtabundanz der Regenwürmer sowie die Artenzahl je Probe waren 2015 signifikant höher als 1992. Die Ergebnisse von 2015 deuten darauf hin, dass eine nicht in der Schlagkartei verzeichnete Kalkung stattgefunden hat. Die Werte für die Gesamtabundanzen beider Tiergruppen und die Regenwurmbiomasse lagen 2015 auf der BDF24 deutlich über den Referenzbereichen für sandige Ackerstandorte (BEYLICH & GRAEFE 2009). Die Artenzahlen liegen dagegen im Referenzbereich. Für den Bodenlebensgemeinschaftstyp auf sandigen Ackerstandorten (Typ A 1.4.1) wurde die erwartete Biomasse überschritten, während sie für sandige Grünlandstandorte (Typ 1.2.1) nicht erreicht wurde. Die Aktivität der Bodenfauna spiegelte also recht deutlich den Wechsel zwischen Acker- und Grünlandnutzung sowie den Wegfall der Bearbeitung in den beiden Jahren vor der Probenahme wider. Hervorzuheben war, dass die anecische Regenwurmart *Lumbricus terrestris* inzwischen offenbar eine stabile Population aufweist, was auf tonarmen Ackerböden nur unter günstigen Bewirtschaftungsbedingungen, im Grünland aber regelmäßig der Fall ist (KRÜCK et al. 2006).

Die Zersetzergesellschaft nach GRAEFE (1993) an diesem Standort ist gekennzeichnet durch das Vorkommen endogäischer und anecischer Regenwürmer sowie von *Fridericia*- und *Enchytronia*-Arten unter den Kleinringelwürmern. Das Artenspektrum ist typisch für den Zersetzergesellschaftstyp *Fridericio-Lumbricetum*. Der geringe Anteil *Fridericia*-Arten sowie die hohe Dominanz der Gattung *Enchytronia*, zu der auch einige Mäßigsäurezeiger gehören, ist charakteristisch für eine Variante des Gesellschaftstyps, die häufig in sandigen, zur Versauerung neigenden Grünland-Böden gefunden wird. Die mittlere Feuchtezahl liegt bei 5, da nur Frischezeiger oder Arten ohne Feuchtezeigerwert nachgewiesen wurden. Die mittlere Reaktionszahl liegt bei 6,7, da Schwachsäurezeiger überwiegen. Der Anteil an r-Strategen unter den Kleinringelwürmern liegt derzeit eher unter dem Durchschnitt für Acker-BDF auf Sandstandorten in Schleswig-Holstein, aber über dem sandiger Grünlandstandorte und steht folglich ebenfalls mit der wechselnden Nutzung der BDF in Einklang (IFAB 2014).

3.13 BDF31 Pinneberg



3.13.1 Landschaft

Die BDF31 liegt 3,5 km südwestlich vom Pinneberger Stadtzentrum in der Hohen Geest. Die BDF liegt etwa 13m über NN auf einer ebenen, aber ansonsten sehr uneinheitlich beschaffenen Altmo-
ränenfläche. Die Altmoräne besteht in diesem Raum fast ausschließlich aus Geschiebedecksand mit stark wechselnder Mächtigkeit über Geschiebesand und -lehm. Bei sandigen und trockenen Verhält-
nissen entwickelten sich in der Regel Braunerden und Podsole (Abbildung 3.61), auch in Fällen, wo der Geschiebelehm in größeren Tiefen ansteht. Reicht der Geschiebelehm jedoch näher an die Ober-
fläche, so entwickelten sich hieraus bevorzugt Pseudogleye und in tieferer Lage Gley-Pseudogleye.

In den tiefsten Stellen entstanden Gleye, Anmo-
rgleye sowie Niedermoo-
re mit unterschiedli-
cher Torfmächtigkeit. In den Senken und den
südlichen Bereichen sind, bedingt durch das höher anstehende
Grundwasser, Gley-Podsole, Gleye und Nieder-
moore zu finden.

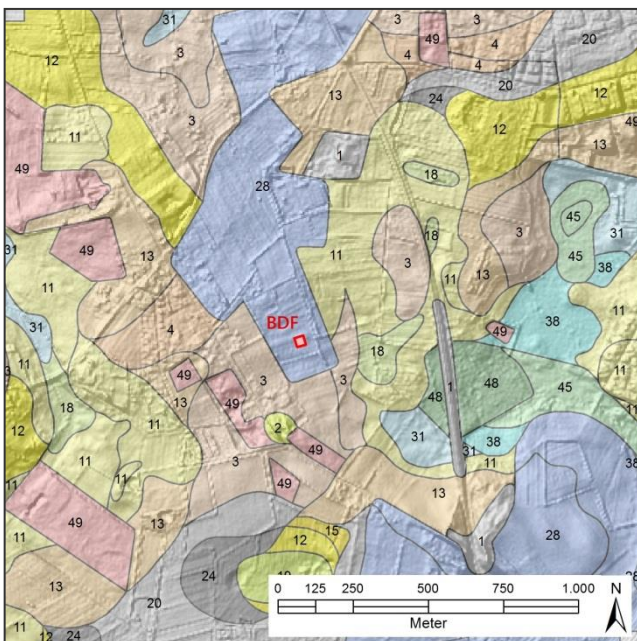


Abbildung 3.61: Bodenformen im Umland der BDF31 (Legende im Anhang).

Aufgrund ihrer Nähe zu Hamburg und der weit verbreiteten Baumschulnutzung sind die Böden groß-
flächig verändert. So sind sie durch Aushub, Verfüllung und Versiegelung stark verändert und nicht
mehr mit den ursprünglich vorhandenen Böden vergleichbar. Die Torfmächtigkeit der Niedermoo-
re hat durch Abgrabung und/oder Zersetzung abgenommen. Auf den Baumschulflächen sind durch
meist langjährige tiefgründige Bodenbearbeitung zu Hortisolen umgewandelt worden.

Die offenen Flächen werden nach dem ATKIS (Stand 02.2009) zu etwa gleichen Teilen als Acker,
Grünland und Baumschule genutzt. An einigen Stellen kommt Wald vor. Die bebauten Flächen un-
terliegen sehr verschiedenen Nutzungen von der Siedlung über Gärtnerei, Wasserwerke bis hin zu
Gewerbebetrieben mit angeschlossenen Wohnanlagen.

3.13.2 Boden und Geologie

Die ursprünglich vorhandene Braunerde ist durch eine langjährige Baumschulennutzung und teilweise Bodenauftrag auf etwa 50 cm Tiefe mit Humus angereichert. Darunter befindet sich der verbräunte Unterboden aus Geschiebedecksand und Schmelzwassersand, der in 90 cm Tiefe in das nur schwach verwitterte Ausgangsgestein aus Schmelzwassersand übergeht.

Der humose Oberboden aus schwach schluffigem Sand ist mit 3,9-4,3% mittel bis stark humos. Die Humusform ist Mull mit einem für Mull weiten C/N-Verhältnis um 17-22. Die pH-Werte (CaCl_2) liegen für Ackerböden mit 4,9-5,0 im mäßig sauren Bereich und im Austauscher-Pufferbereich. Der Oberboden geht nach 40 cm in einen humusangereicherten Unterboden aus schwach schluffigem Geschiebedecksand über. In 58 cm Tiefe geht der Unterboden allmählich in einen verbräunten Unterboden und anschließend in das Ausgangsgestein über. Ab 78 cm folgt das schwach verwitterte bzw. verbräunte Ausgangsgestein aus überwiegend mittelsandigem Schmelzwassersand.

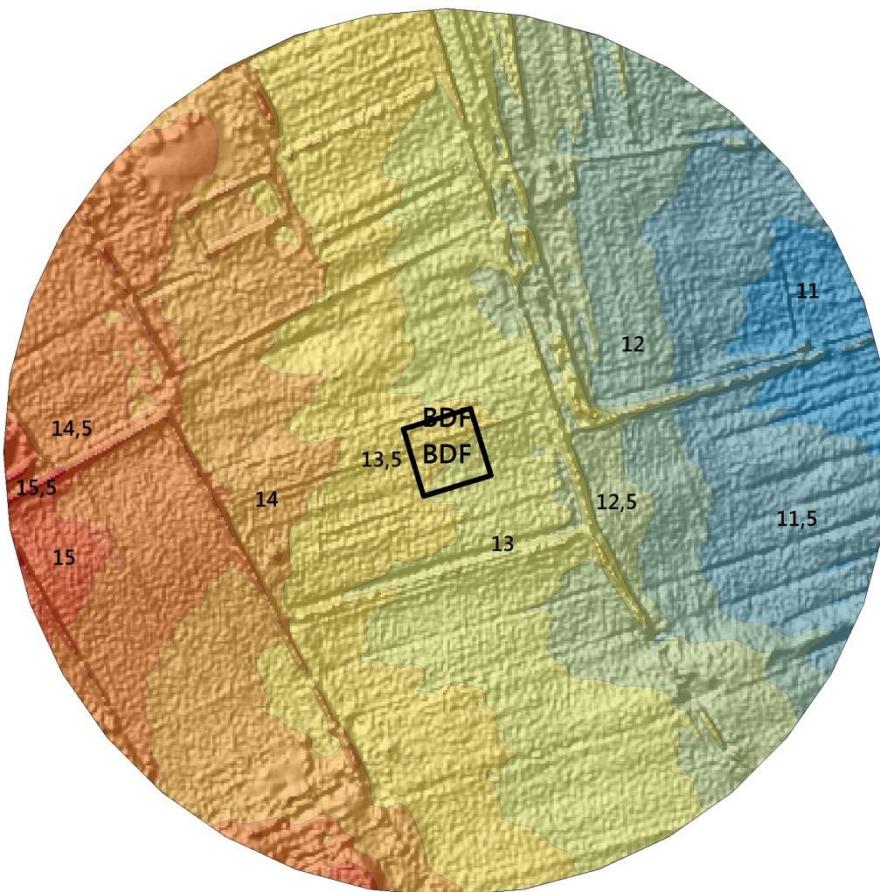


Abbildung 3.62 Relief in der Umgebung der BDF

3.13.3 Klima, Witterung und Wasserhaushalt

Die Jahresdurchschnittstemperatur beträgt 8,4°C. Die Jahresniederschläge von 780 mm entsprechen in etwa dem Landesdurchschnitt.

Zeitraum	Temperatur (°C)	Niederschlag (mm)	BKF	Grüwa. (cm Tiefe)
1961-1990	8,4	780		
2013-2018	10,0	757	3,6	158
2018	10,5	538	2,0	167

Tabelle 3.23: Klima/Witterung und Wasserhaushalt zu verschiedenen Zeiträumen, Temperatur in °C im Jahresdurchschnitt, Niederschlag in mm als Jahressumme, bodenkundliche Feuchtestufe (BKF), Grundwasser in cm

Der sandige Standort liegt auf einer flach ansteigenden Moränenhochfläche. Die effektive Durchwurzelung reicht bis 81 cm. Von der Feldkapazität von 202 mm sind 137 mm pflanzenverfügbar, welches in geringem Maße durch Grundwasser ergänzt wird. Aufgrund der Baumschulnutzung wird der Wasserhaushalt im Vergleich zur Grünland- und Ackernutzung geschont, so dass bei durchschnittlichen Niederschlägen das Wasserbilanzdefizit im Sommer nur moderat ausfällt. Die bodenkundliche Feuchtestufe ist im Schnitt der letzten Jahre als mittel bis schwach trocken anzusprechen. Die letzten sechs Jahre waren genauso feucht, aber 1,3°C wärmer als im Schnitt der Jahre 1961 bis 1990. Von April bis einschließlich ist ein Wasserbilanzdefizit zu verzeichnen, was wärmer und teilweise trockener gewordenen Sommermonate zurückzuführen ist. Der Standort musste als schwach frisch angesprochen werden (BKF 4).

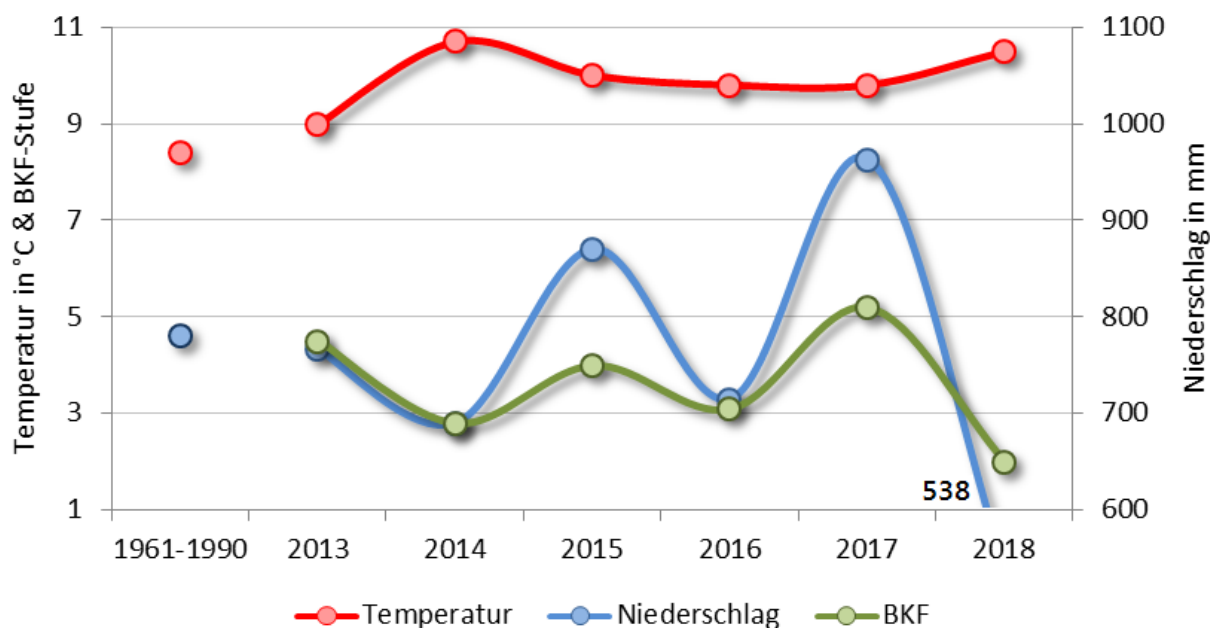


Abbildung 3.63: Temperatur, Niederschlag und bodenkundliche Feuchtestufe an der BDF31.

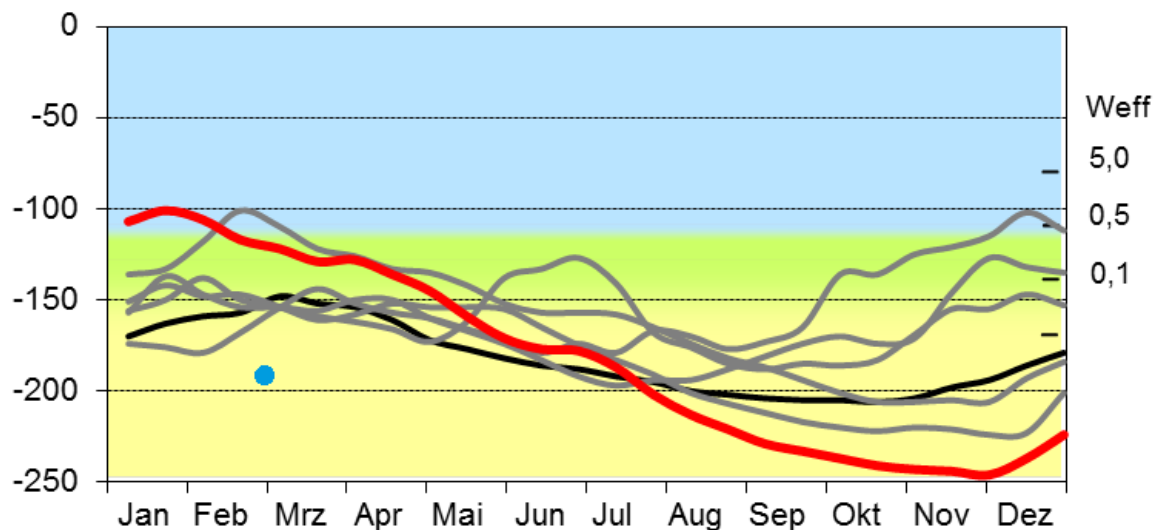


Abbildung 3.64: Grundwasserganglinien für die Jahre 2013 - 2017 (grau), 2018 (rot) sowie 1991-2018 (schwarz), Grundwasserstand zum Zeitpunkt der Probenentnahme (blauer Punkt), linke Skala: Tiefe in cm unter GOF, rechte Skala: Weff = Untergrenze des effektiven Wurzelraumes, Zahlenangaben kapillarer Aufstieg in mm/Tag aus der jeweiligen Tiefe (siehe linke Skala), untere Skala: lfd. Monate des Jahres

Die letzten sechs Jahre (2013-2018) waren 1,6°C wärmer und etwa genauso niederschlagsreich wie im Schnitt der Jahre 1961 bis 1990. Der Standort war als schwach einzustufen (BKF4).

Der Standort war aufgrund des sehr nassen Jahres 2017 bis in den April überdurchschnittlich feucht und trocknete n der Trockenheit und Hitze allmählich und vollständig aus. Bereits im Mai verlor der Standort den Kontakt zum Grundwasser, es gab keinen kapillaren Wasseraufstieg mehr. Die bodenkundliche Feuchtestufe sank um etwa zwei Stufen, so dass der Standort als mittel trocken galt (BKF2).

3.13.4 Bewirtschaftung

Dieser Baumschulstandort wurde bis 2003 hauptsächlich für größere Laubgehölze genutzt. Es wurden geringe Mengen Stickstoff (12kg N/ha*a) bevorzugt im Frühjahr und zweimal im Jahr Pflanzenschutzmittel ausgebracht. Dazu wurde sporadisch Pferdemist gestreut. Der Boden wurde einmal im Jahr tief und zweimal im Jahr flach für eine Unkrautbekämpfung bearbeitet. Seit 2004 werden verstärkt Nadelgehölze aus Samen gezogen. Der Boden ist häufig mit jungen Pflanzen bedeckt. Damit einhergehen deutlich höhere Stickstoffgaben (gut 100kg N/ha*a) mit weiterhin gelegentlicher Pferdemistgabe und bis zu fünf Pflanzenschutzmaßnahmen, begleitet von einer zweimaligen mechanischen Unkrautbekämpfung. Im Herbst 2015 wurde der größte Teil der BDF mit Gras eingesät. Der Baumschulbetrieb wurde zugunsten der Pferdehaltung unterbrochen und im Herbst 2017 wieder aufgenommen.

Tabelle 3.24: Anbausysteme und Bewirtschaftungsmaßnahmen zu verschiedenen Zeiträumen

Jahr	Kultur	Besatzdichte (GVE/ha)	Weidedauer (Tage)	Stickstoff (kgN/ha)	Phosphor (kgP2O5/ha)	Kalkung (kgCaO/ha)	Mist (dt/ha)	wendende Bodenbearbeitung (Anzahl)	tiefe Bodenbearbeitung (Anzahl)	mitteltiefe Bodenbearbeitung (Anzahl)	flache Bodenbearbeitung (Anzahl)	Pflanzenschutz (Spritztermine)	Pflanzenschutz2 (Zahl einges. PS-Mittel)
1991-2018	Baumschule bis			90	29	53	68	0,3	0,5	0,4	0,4	1,9	2,7
2004-2018	Herbst 2015, dann 2 Jahre Gras, seit			78	19	98	27	0,5	0,9	0,2	0,4	2,7	3,9
2013-2018	Herbst 2017 wieder Baumschule	0,7	20,7	65	8			0,2	0,5		1,0	2,7	3,8
2018	Baumschule			78	8						6,0	7,0	9,0

In 2018 wurde die BDF sehr intensiv Nutzung als Baumschule genutzt. Dabei standen auf Teilen der BDF Bäume/Baumsetzlinge, andere Teile wurden intensiv befahren. Das Düngenniveau bewegte sich auf geringem bis mäßigen, das Pflanzenschutzniveau auf sehr hohem Niveau.

Ende Januar 2019 wurde die Fläche gekalkt und 1 Tag vor der Probenentnahme mit 400 kg Patentkali bestreut.

Tabelle 3.25: Bewirtschaftungsform und jährliche Kennwerte einiger Bewirtschaftungsmaßnahmen

Jahr	Kultur	Besatzdichte (GVE/ha)	Weidedauer (Tage)	Stickstoff (kg N/ha)	Phosphor (kg P ₂ O ₅ /ha)	Kalkung (kg CaO/ha)	Mist (dt/ha)	wendende Bodenbearbeitung (Anzahl)	tiefe Bodenbearbeitung (Anzahl)	mitteltiefe Bodenbearbeitung (Anzahl)	flache Bodenbearbeitung (Anzahl)	Pflanzenschutz (Spritztermine)	Pflanzenschutz2 (Zahl einges. PS-Mittel)
1990	Baumschule												
1991	Baumschule			134	30		100	1	1				
1992	Baumschule			84								1	1
1993	Baumschule			84								1	1
1994	Baumschule			315	245		700					2	3
1995	Baumschule			105						1	1	1	2
1996	Baumschule									1	1	1	2
1997	Baumschule									1	1	1	2
1998	Baumschule			105						1	1	1	2
1999	Baumschule			315	245		700	1	1	1	1	1	2
2000	Baumschule												
2001	Baumschule			105						2		1	2
2002	Baumschule			105								1	1
2003	Baumschule												
2004	Baumschule												
2005	Baumschule												
2006	Baumschule			102	20							1	1
2007	Baumschule			90	70		200	1	1	1		1	1
2008	Baumschule			102	20							5	5
2009	Baumschule			108		630		2	2	1		4	5
2010	Baumschule			114	35			1	2			4	8
2011	Baumschule			132	14	840				1		6	10
2012	Baumschule			136	81		200	2	5			4	5
2013	Baumschule			222	20							4	6
2014	Baumschule			90	18							4	7
2015	Baumschule/Gras								1				
2016	Baumschule/Gras	2,0	62										
2017	Baumschule/Gras	2,0	62					1	2			1	1
2018	Baumschule			78	8						6	7	9

Tabelle 3.26: Bewirtschaftungsmaßnahmen in 2017 und Anfang 2018

Jahr	Datum	Maßnahme	Detail	Wert	Einheit
2018	26.03.	Düngung	Mineraldüngung	250	kg/ha
	27.04.	Pflanzenbehandlung	2 Herbizide	1	l/ha
				4	l/ha
	09.05.	Bodenbearbeitung	mechanische Pflege	5	cm Tiefe
	03.05.	Pflanzenbehandlung	Fungizid	2	l/ha
	20.05.	Bodenbearbeitung	mechanische Pflege	5	cm Tiefe
	15.05.	Pflanzenbehandlung	Fungizid	1,5	l/ha
	06.06.	Pflanzenbehandlung	Fungizid	1,5	kg/ha
	20.06.	Bodenbearbeitung	mechanische Pflege	2	cm Tiefe
		Düngung	Mineraldüngung	150	kg/ha
	11.06.	Pflanzenbehandlung	2 Insektizide	0,2	l/ha
				0,1	kg/ha
	02.07.	Pflanzenbehandlung	Herbizid	6	l/ha
	20.07.	Bodenbearbeitung	mechanische Pflege	5	cm Tiefe
	09.08.	Bodenbearbeitung	mechanische Pflege	5	cm Tiefe
	20.09.	Bodenbearbeitung	mechanische Pflege	5	cm Tiefe
	17.12.	Pflanzenbehandlung	Herbizid	5	l/ha
2019	20.01.	Kalkung	Kalk	1500	kg/ha
	25.02.	Düngung	Mineraldüngung	400	kg/ha
	26.02.	Probenentnahme zur bodenmikrobiologischen Untersuchung			
	20.03.	Pflanzenbehandlung	2 Herbizide	4	l/ha
				1	l/ha
	22.03.	Düngung	Mineraldüngung	350	kg/ha

3.13.5 Vegetationskunde

Es wurden in den Jahren 1992, 1995, 1998 und 2005 pflanzensoziologische Untersuchungen durchgeführt. Es wurde dabei eine artenreiche Basalgesellschaft der Acker-Wildkraut-Fluren (*Stellarietea mediae*) gefunden. Die Begleitflora war verglichen mit Pflanzengesellschaften auf Äckern relativ arten- und individuenreich ausgeprägt. Ausschlaggebend dafür waren vermutlich stellenweise gute Lichtbedingungen im Bodenbereich sowie teilweise eine geringe Störungsintensität. Die Zeigerwerte Begleitflora wiesen auf einen frischen, stickstoffreichen sowie schwach sauren Standort hin.

Dies gilt nunmehr nur noch für die Südseite der BDF. Im Sommer 2015 wurde der größte Teil der BDF mit Gras für eine Pferdeweide eingesät. Die Grasnarbe war im Frühjahr 2016 lückig und mit Pferdemist bestreut.



Abbildung 3.65: BDF während der Probenentnahme vom 02.03.2016.

3.13.6 Bodenzologie

Auf der BDF wurden 2018 eine endogäische sowie eine epigäische Regenwurmart nachgewiesen. Aufgrund der teils intensiven Bewirtschaftungsmaßnahmen im Rahmen der Baumschulnutzung wird hier die Referenz für sandige Ackerflächen herangezogen (BEYLICH & GRAEFE 2009). Danach war die Artenzahl der Regenwürmer sowie ihre Biomasse als überdurchschnittlich, die Abundanz sogar als sehr hoch einzustufen. Abundanz und Artenzahl der Kleinringelwürmer lagen im durchschnittlichen Bereich. Die Lebensgemeinschaft war von Schwachsäurezeigern dominiert. Feuchtezeiger traten nicht auf.

Der Anteil der r-Strategen entsprach 2018 etwa dem Wert der drei vorherigen Untersuchungen. Durch das Auftreten eines Mäßigsäurezeigers kam es zu einer leichten Verschiebung unter den Reaktionszeigergruppen im Vergleich mit den Vorjahren. Die Abundanzen beider Tiergruppen erreichten 2018 die höchsten Werte seit Beginn der Untersuchungen. Aufgrund der über die Fläche heterogenen Bewirtschaftungsbedingungen zeigen die Werte allerdings eine hohe Varianz. Die 2018 vergleichsweise hohe Aktivität beider Tiergruppen hatte wahrscheinlich zwei Ursachen: Die Baumschulkulturen wurden wegen der trockenen Witterung im Sommer bewässert, so dass die Bodenfeuchteverhältnisse auf dieser BDF günstiger waren als auf den untersuchten Forstflächen. Außerdem war die Fläche von Herbst 2015 bis Herbst 2017 vorübergehend unter Grünlandnutzung. Von der dadurch reduzierten Bodenbearbeitung haben die Bodenorganismen profitiert, was sich noch im Folgejahr 2018 erkennen ließ.

Die Zersetzergesellschaft ist gekennzeichnet durch das Vorkommen endogäischer Regenwürmer bei gleichzeitigem Fehlen anecischer Arten. Unter den Kleinringelwürmern zählen opportunistische r-

Strategen (Gattung *Enchytraeus*) zu den häufigen Arten. Diese Merkmale sind charakteristisch für den Gesellschaftstyp **Fridericio-Enchytraetum**, der schwerpunktmäßig auf sandigen Ackerstandorten anzutreffen ist. Wegen des dort meist niedrigen pH-Wertes tritt neben den Schwachsäurezeigern (Gattungen *Fridericia*, *Enchytraeus*) oft ein gewisser Anteil Säurezeiger auf. Anecische Regenwurmarten fehlen dagegen wegen ihrer geringen Säuretoleranz und ihrer Empfindlichkeit gegenüber regelmäßigem Pflugeinsatz auf sandigen Böden mit geringer Gefügestabilität.

3.13.7 Bodenmikrobiologie (Charakterisierung aus 2016)

Die mikrobielle Biomasse ($C_{\text{mic-CFE}}$) der BDF wird nach Quirin & Emmerling (2004) innerhalb der Ackerklassifikation als sehr hoch eingestuft, die glucoseaktivierte mikrobielle Biomasse ($C_{\text{mic-SIR}}$) dagegen als niedrig. Beide Parameter sind um etwa die Hälfte niedriger als bei der Vergleichsfläche BDF24. Der Gehalt des mikrobiellen Stickstoffs ($N_{\text{mic-CFE}}$) ist im Vergleich mit den im Jahr 2016 untersuchten Grünland- und Ackerstandorten am geringsten. Gleiches gilt für die Basalatmung ($R_{\text{B-Hein}}$). Auch die Argininammonifikation (ARG) ist unterdurchschnittlich und wird als sehr niedrig klassifiziert. Die mikrobiellen Quotienten ($Q_{\text{mic-CFE}}$ und $Q_{\text{mic-SIR}}$) werden zwar als hoch und mittel hoch eingestuft, gehören jedoch zu den niedrigsten mikrobiellen Quotienten, welche im Untersuchungsjahr 2016 ermittelt wurden. Der metabolische Quotient ($Q_{\text{met-CFE}}$) ist sehr niedrig, während der metabolische Quotient der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{\text{met-SIR}}$) als hoch eingestuft wird.

4 Ergebnisse und Diskussion

In diesem Kapitel werden die Untersuchungsergebnisse der einzelnen BDF beschrieben und dargestellt. Im jeweils ersten Abschnitt der einzelnen BDF-Unterkapitel erfolgt zunächst eine Beschreibung der Situation bei der Probenahme. Im jeweils zweiten Abschnitt folgen die Analyseergebnisse für das Untersuchungsjahr 2019. Die einzelnen Werte werden den jeweiligen Klassen zugeordnet (C_{org} , N_t , C_{org}/N_t , pH und Trockenrohdichte nach Bodenkundlicher Kartieranleitung (2005), mikrobiologische Parameter sowie N_{min} -Gehalte entsprechend der gruppenspezifischen Referenzwerte nach Woloszcyk (2019)) und in Relation zu den Werten der übrigen BDF gleicher Nutzung gesetzt.

Der jeweils dritte Abschnitt der BDF-Unterkapitel stellt die einzelnen Parameter in ihrer zeitlichen Entwicklung über den gesamten Untersuchungszeitraum dar.

Die letzten Abschnitte stellen sofern erkennbar die Beziehungen der Bodenmikrobiologie zu den Standortparametern dar. Korrelationen wurden für die einzelnen Standorte aus den Daten der Zeitreihen (Erstuntersuchung bis 2016) berechnet und bei vorhandener Signifikanz angegeben. Da nicht in jedem Untersuchungsjahr alle Parameter bestimmt wurden, ist die Anzahl der Daten (N) bei den einzelnen Korrelationen teilweise unterschiedlich.

Im Unterkapitel 4.13 erfolgen schließlich ein Gesamtvergleich sowie die Gruppierung der BDF anhand von Gemeinsamkeiten bei den Werten der abiotischen und bodenmikrobiologischen Parameter. Zudem werden die Ergebnisse des Untersuchungsjahres 2019 der zwölf BDF miteinander korreliert und die Kennwerte der Korrelationen in Tabellen angegeben. Abschließend wird die Entwicklung seit der Erstuntersuchung beschrieben sowie ein Bezug zu den Standortfaktoren hergestellt.

Die Beschreibung der Ergebnisse und insbesondere der zeitlichen Entwicklung der Parameter ist jeweils auf die Mittelwerte der Gesamtfläche bezogen. Aufgrund der teilweise relativ hohen bzw. nicht bestimmten Flächenvarianzen (Standardabweichungen) sind die beschriebenen Einstufungen sowie Trends (Zu- und Abnahmen) nicht in allen Fällen statistisch signifikant.

4.1 BDF01 List/Sylt

4.1.1 Situation bei der Probenentnahme

Tabelle 4.1: Temperatur und Niederschlag der BDF01 zum Jahreswechsel 2018/2019. Monatsdurchschnittstemperatur in °C, Monatsniederschlagssumme in mm.

Jahr	Monat	Monatsdurchschnitts- temperatur, °C	Niederschlag, mm/Monat
2018	Oktober	11,7	34
	November	6,6	30
	Dezember	5,2	58
2019	Januar	3,3	28
	Februar	4,9	25
	März	6,4	77
Dez. 18 - Feb. 19		4,5	111

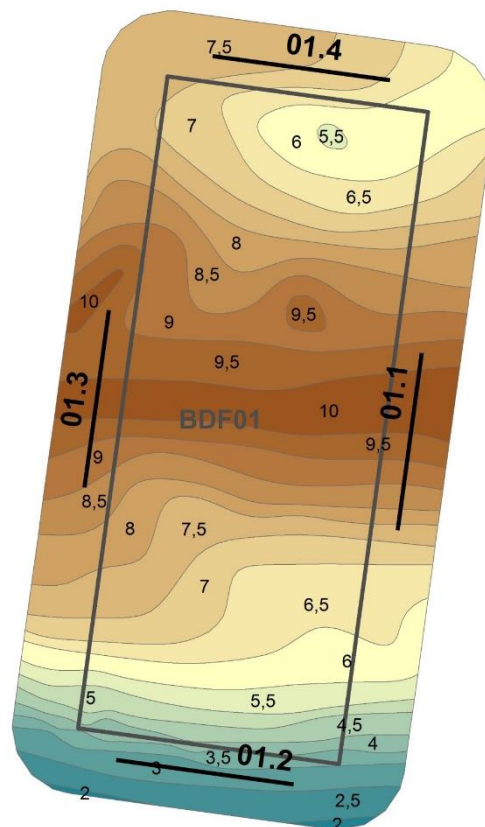


Abbildung 4.1: Lageplan der BDF01 (List/Sylt) und Strecken für die Probenahme für die bodenchemischen und bodenmikrobiologischen Untersuchungen 2019. Entlang der Probenahmestrecken (01.1 – 01.4) wurden jeweils vier Mischproben aus der organischen Auflage und dem Mineraloberboden entnommen.

Tabelle 4.2: Bedingungen während der Probenentnahme der BDF01 (Probenentnahmeprotokoll). Für die Witterungsverhältnisse und die Bodenbeschaffenheit sind die Abkürzungen nach AD-HOC-ARBEITSGRUPPE BODEN, 2005, angegeben.

Bearbeiter	Herr Dr. Elsner
Datum	27.02.2019
Beginn	11:15 Uhr
Temperatur, GOF	6,8°C
Temperatur, 10cm	4,1°C
Frost	0 Tage
Niederschlag	keine Niederschläge seit 1 Woche
Bodenfeuchte	schw. feucht-feucht, halbfest-steif
Wasserüberstau	
Vegetation, Zusammensetzung	Gräser, Kräuter und Sträucher
Nutzungsspuren	Grasüberstand aus letztem Jahr
Pflegemaßnahmen	nicht erkennbar
Tiereinflüsse	Kot
Düngespuren	nicht erkennbar
Vegetation, Einheitlichkeit	uneinheitlich
Höhe Vegetation	0->25 cm
Bodenbedeckung	geschlossen, kein freier Boden
Bemerkung	

4.1.2 Analyseergebnisse und Klassifikation

Die BDF01 Sylt ist ein Sonderstandort, welcher als Weidefläche für Schafe extensiv bewirtschaftet wird. Die Bodenform ist Podsoliger Regosol aus holozänen Flugsanden.

Die organische Auflage der BDF01 (Ofh, Graswurzelfilz-Moder bis Hagerhumus) ist im Mittel 2,6 cm mächtig und entspricht bezogen auf den C_{org} -Gehalt der Einstufung als stark humos. Mit einem C_{org}/N_t -Verhältnis von 17 ist die Humusqualität mittel hoch. Der Gehalt des mineralischen Stickstoffs, welcher nahezu vollständig aus Ammonium-Stickstoff besteht, ist etwa vierfach höher als im Mineraloberboden, jedoch für Humusaufgaben niedrig. Der pH liegt im sehr stark sauren Bereich. Der Gehalt der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$) weist für Humusaufgaben mittel hohe Werte auf. Bezogen auf den geringen C_{org} -Gehalt ist die Auflage der BDF01 jedoch durch einen sehr hohen mikrobiellen Quotienten ($Q_{mic-CFE}$) gekennzeichnet. Der metabolische Quotient ($Q_{met-CFE}$), die Basalatmung (R_{B-Hein}) und die Argininammonifikation (ARG) liegen in niedrigen bis sehr niedrigen Bereichen.

Der Mineraloberboden (Aeh) wurde bis zu einer Tiefe von 5 cm beprobt und wird nach Ad hoc AG Boden (2005) als mittel humos eingestuft (Tabelle 4.3) und weist damit einen der niedrigsten Humusgehalte aller im Jahr 2019 untersuchten Grünlandstandorte auf. Die Humusqualität hingegen wird aufgrund des engen C_{org}/N_t -Verhältnisses von 14 als hoch eingestuft. Die Trockenrohdichte des

Mineraloberbodens ist mittel. Der Boden wird anhand des pH (CaCl_2) mit einem pH-Wert von 3,6 als sehr stark sauer eingestuft und ist somit deutlich saurer als die übrigen Grünlandstandorte. Die Gehalte an Ammonium und an Nitrat der BDF01 sind sehr niedrig bis niedrig, Nitrit wurde nicht nachgewiesen. Daraus ergibt sich ein insgesamt sehr niedriger Gehalt des löslichen Stickstoffs (N_{\min}).

Die mikrobiologischen Parameter sind in der Tabelle 4.4 dargestellt. Die mikrobielle Biomasse ($C_{\text{mic-CFE}}$) des Mineraloberbodens wird für sandige Grünlandstandorte als mittel hoch eingestuft. Als sehr niedrig gilt die Einstufung für die Parameter Argininammonifikation (ARG) sowie für die Basalatmung ($R_{\text{B-Hein}}$) und für den metabolischen Quotienten ($Q_{\text{met-CFE}}$). Der mikrobielle Quotient ($Q_{\text{mic-CFE}}$) wird als sehr hoch eingestuft, der Gehalt des mikrobiellen Stickstoffs ($N_{\text{mic-CFE}}$) ist niedrig.

Tabelle 4.3: Ergebnisse der bodenchemischen Analyse 2019 für die BDF01 (List/Sylt). Aufgeführt sind der organische Kohlenstoffgehalt (C_{org}) und der Gesamtstickstoffgehalt (N_t) in $\text{cg g}^{-1}\text{TG}$, sowie das Verhältnis von organischem Kohlenstoff zu Stickstoff im Boden (C_{org} / N_t), der gelöste Stickstoffgehalt (N_{\min}) berechnet aus der Summe von Ammonium ($\text{NH}_4^+\text{-N}$), Nitrit ($\text{NO}_2^-\text{-N}$) und Nitrat ($\text{NO}_3^-\text{-N}$), die Trockenrohdichte in g TG cm^{-3} , der Wassergehalt in $\text{mg g}^{-1}\text{TG}$ und der pH gemessen in CaCl_2 . Die Werte stellen jeweils den Mittelwert aus acht Parallelen dar und sind mit der Standardabweichung angegeben. Farbkodierungen zur Bewertung siehe Anhang Tabelle A 2, A 3, A 4 und A 5.

Boden-horizont	C_{org}	N_t	C_{org} / N_t	N_{\min}	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	$\text{NO}_2^-\text{-N}$	$\text{NO}_3^-\text{-N}$
Tiefe, cm	$\text{cg g}^{-1}\text{TG}$	$\text{cg g}^{-1}\text{TG}$		$\mu\text{g g}^{-1}\text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1}\text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1}\text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1}\text{TG}$
Ofh bis +2,6	3,4 $\pm 1,1$	0,2 $\pm 0,1$	17,1 $\pm 2,1$	10,9 $\pm 5,3$	10,4 $\pm 5,0$	0,0 $\pm 0,0$	0,5 $\pm 0,3$
Aeh bis -5	1,3 $\pm 0,2$	0,1 $\pm 0,0$	14,0 $\pm 1,1$	2,9 $\pm 1,0$	2,5 $\pm 0,9$	0,0 $\pm 0,0$	0,4 $\pm 0,2$

Boden-horizont	$C_{\text{org}} / \text{Fläche}$	$N_t / \text{Fläche}$	$N_{\min} / \text{Fläche}$	$N_{\min} / \text{Fläche}$	Trockenroh-dichte	Wasser-gehalt	pH
Tiefe, cm	g m^{-2} Horizonttiefe	g m^{-2} Horizonttiefe	g m^{-2} Horizonttiefe	kg N ha^{-1} Horizonttiefe	g TG cm^{-3}	$\text{mg g}^{-1}\text{TG}$	
Ofh bis +2,6	652 ± 211	38 ± 10	0,2 $\pm 0,1$	2,1 $\pm 1,0$	0,7 $\pm \text{n.b.}$	178 ± 58	3,7 $\pm 0,6$
Aeh bis -5	917 ± 110	66 ± 6	0,2 $\pm 0,1$	2,1 $\pm 0,7$	1,4 $\pm \text{n.b.}$	78 ± 7	3,6 $\pm 0,5$

Tabelle 4.4: Ergebnisse der bodenmikrobiologischen Analyse 2019 für die BDF01 (List/Sylt). Aufgeführt ist der mikrobielle Kohlenstoffgehalt, gemessen mit der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($C_{mic-CFE}$) und über die Substratinduzierte Atmung (SIR) mit der Heinemeyeranalyse ($C_{mic-SIR}$), außerdem der mikrobielle Stickstoffgehalt, gemessen mit der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($N_{mic-CFE}$). Angegeben sind weiterhin die mikrobielle Basalatmung, gemessen als CO_2 -Produktionsrate mithilfe der Heinemeyeranlage (R_{B-Hein}) und die potentielle Ammonifikation nach der Arginin-Ammonifikationsmethode (ARG). Des weiteren sind der metabolische Quotient und der mikrobielle Quotient jeweils aus den Ergebnissen der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($C_{mic-CFE}$) und der Heinemeyeranlage ($C_{mic-SIR}$) berechnet. Die Werte stellen jeweils den Mittelwert aus acht Parallelen dar und sind mit der Standardabweichung angegeben. Farbkodierungen siehe Anhang A 6. Im unteren Teil der Tabelle sind die verschiedenen Parameter bezogen auf die Fläche angegeben.

Boden-horizont	$C_{mic-CFE}$	$C_{mic-SIR}$	$N_{mic-CFE}$	R_{B-Hein}	ARG	$Q_{mic-CFE}$ $C_{mic-CFE} / C_{org}$	$Q_{mic-SIR}$ $C_{mic-SIR} / C_{org}$
Tiefe, cm	$\mu g\ g^{-1} TG$	$\mu g\ g^{-1} TG$	$\mu g\ g^{-1} TG$	$\mu g\ CO_2-C\ g^{-1} TG\ h^{-1}$	$\mu g\ NH_4^+-N\ g^{-1} TG\ h^{-1}$	%	%
Ofh bis +2,6	1396 ± 521	n.b. $\pm n.b.$	76 ± 14	1,4 $\pm 0,2$	1,1 $\pm 0,9$	4,1 $\pm 0,9$	n.b. $\pm n.b.$
Aeh bis -5	585 ± 34	n.b. $\pm n.b.$	26 ± 2	0,4 $\pm 0,0$	1,0 $\pm 0,2$	4,7 $\pm 0,6$	n.b. $\pm n.b.$

Boden-horizont	$C_{mic-CFE} /$ Fläche	$C_{mic-SIR} /$ Fläche	$N_{mic-CFE} /$ Fläche	$R_{B-Hein} /$ Fläche	ARG / Fläche	$Q_{met-CFE}$ $R_{B-Hein} / C_{mic-CFE}$	$Q_{met-SIR}$ $R_{B-Hein} / C_{mic-SIR}$
Tiefe, cm	$g\ m^{-2}$ Horizonttiefe	$g\ m^{-2}$ Horizonttiefe	$g\ m^{-2}$ Horizonttiefe	$mg\ CO_2-C\ m^{-2}\ h^{-1}$ Horizonttiefe	$mg\ NH_4^+-N\ m^{-2}\ h^{-1}$ Horizonttiefe	$\mu g\ CO_2-C\ mg^{-1}\ C_{mic-CFE}\ h^{-1}$	$\mu g\ CO_2-C\ mg^{-1}\ C_{mic-SIR}\ h^{-1}$
Ofh bis +2,6	27 ± 10	n.b. $\pm n.b.$	1,5 $\pm 0,3$	27 ± 3	21 ± 16	1,1 $\pm 0,2$	n.b. $\pm n.b.$
Aeh bis -5	42 ± 2	n.b. $\pm n.b.$	1,8 $\pm 0,2$	30 ± 2	72 ± 14	0,7 $\pm 0,0$	n.b. $\pm n.b.$

4.1.3 Zeitreihenvergleich

Die Zeitreihe der **organischen Auflage** beschränkt sich auf den Vergleich der Untersuchungsjahre 2013, 2016 und 2019. Es zeigt sich, dass bei weitgehend konstantem pH und C_{org} -Gehalt die mikrobielle Biomasse ($C_{\text{mic-CFE}}$) und damit verbunden auch der mikrobielle Quotient ($Q_{\text{mic-CFE}}$) zwischen 2013 und 2016 um etwa 50 % angestiegen sind (Abbildung 4.2). Zum Untersuchungsjahr 2019 nahmen der C_{org} -Gehalt leicht ab und der mikrobielle Quotient leicht zu. Neben der mikrobiellen Biomasse stieg ebenfalls die Basalatmung ($R_{\text{B-Hein}}$) zum Jahr 2016 an, so dass der metabolische Quotient ($Q_{\text{met-CFE}}$) zunächst unverändert blieb. Zum Jahr 2019 nahmen sowohl Basalatmung als auch metabolischer Quotient ab (Abbildung 4.4). Die Argininammonifikation (ARG) in der organischen Auflage stieg zum Jahr 2016 leicht an, während sich der Gehalt des mineralischen Stickstoffs (N_{min}) halbierte. Zum Jahr 2019 zeigte sich für die ARG eine leichte Abnahme und für den N_{min} -Gehalt eine leichte Zunahme (Abbildung 4.6).

In der Zeitreihe des **Mineraloberbodens** (Abbildung 4.3) ist zu sehen, dass der Gehalt des organischen Kohlenstoffs (C_{org}) im Mineraloberboden zwischen den Untersuchungsjahren 1996 und 2007 deutlich zugenommen hat, zwischen 2007 und 2016 jedoch erneut auf das Niveau von 1996 gesunken ist. Zum Jahr 2019 blieb der C_{org} -Gehalt unverändert. Der Boden-pH blieb im gesamten Untersuchungszeitraum weitgehend konstant, mit Ausnahme der Jahre 1996 und 1999 betrugen die pH-Schwankungen lediglich 0,1 Einheiten. Zum Untersuchungsjahr 2019 erfolgte jedoch eine Abnahme des pH um 0,3 Einheiten.

Der Gehalt der mikrobiellen Biomasse ($C_{\text{mic-CFE}}$) zeigt im Verlauf der Jahre einen deutlichen Peak im Untersuchungsjahr 2011. Zum Folgejahr 2013 halbierte sich die mikrobielle Biomasse und sank somit auf etwa das Niveau der Untersuchungsjahre 2002 und 2007. Zum Jahr 2016 stieg der Gehalt der mikrobiellen Biomasse erneut an und erreichte den bis dahin zweithöchsten Wert. Zum Jahr 2019 setzte sich der Anstieg fort und erreichte den Höchstwert aller Untersuchungsjahre. Der mikrobielle Quotient ($Q_{\text{mic-CFE}}$) zeigt sich jeweils abwechselnde Ab- und Zunahmen über den gesamten Untersuchungszeitraum. Zwischen 2016 und 2019 erfolgte jedoch, analog zum Gehalt der mikrobiellen Biomasse, eine deutliche Zunahme des mikrobiellen Quotienten.

Auch der zeitliche Verlauf der Basalatmung im Mineraloberboden ($R_{\text{B-Hein}}$) zeigt einen deutlichen Peak im Jahr 2011 (Abbildung 4.5). Zum Jahr 2013 reduzierte sich die Basalatmung jedoch sehr deutlich und verblieb auf diesem geringen Niveau bis zum Jahr 2016 und 2019. Der metabolische Quotient ($Q_{\text{met-CFE}}$) sank seit dem Untersuchungsjahr 1999 nahezu kontinuierlich auf den niedrigsten Wert im Jahr 2019.

Die Zeitreihe der Argininammonifikation (ARG) sowie des Gehalts des löslichen Stickstoffs (N_{min}) ist in der Abbildung 4.7 dargestellt. Zu erkennen ist, dass die ARG im Jahr 2002 ihren Höchststand hatte, danach jedoch bis ins Jahr 2016 kontinuierlich abfiel. Auch der N_{min} -Gehalt folgte diesem Trend und erreichte 2016 in etwa das Niveau des Zwischentiefs des Jahres 2007. Zum Jahr 2019 zeigten beide Parameter einen geringfügigen Anstieg.

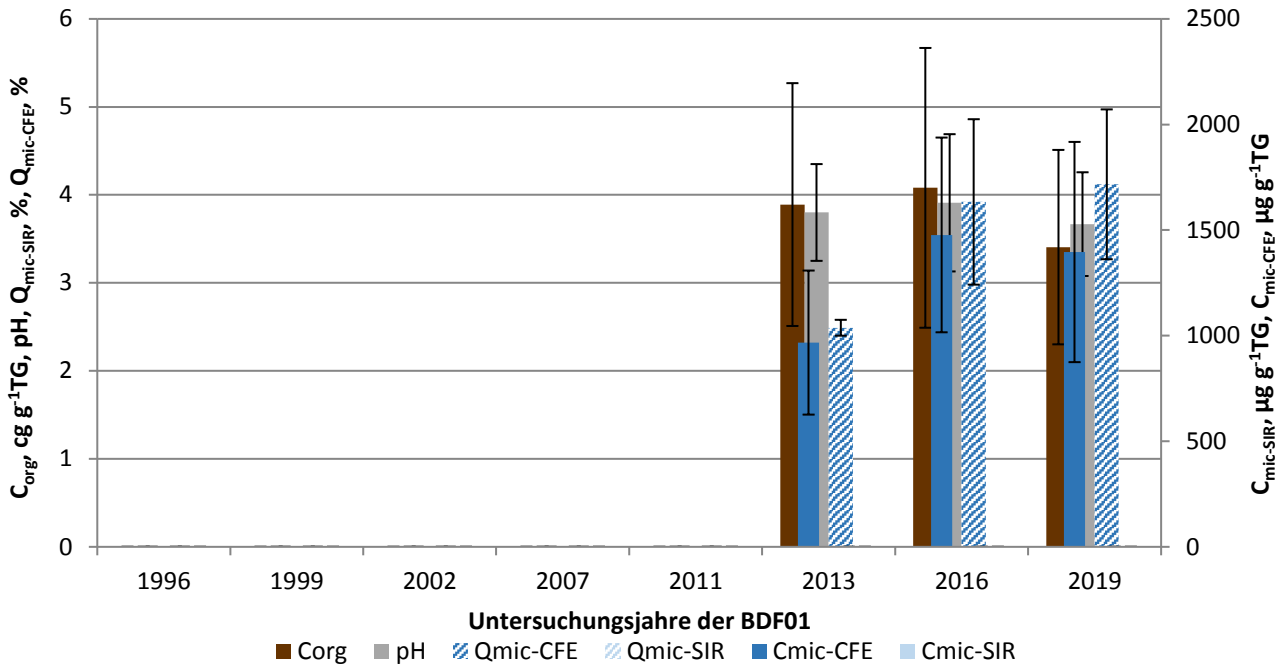


Abbildung 4.2: Ergebnisse der BDF01 (organische Auflage) der gesamten Untersuchungsjahre des organischen Kohlenstoffgehaltes (C_{org}), des pH-Wertes, der gesamten ($C_{mic-CFE}$) und der glucoseaktivierten ($C_{mic-SIR}$) mikrobiellen Biomasse und des Anteils dieser Biomasse am organischen Kohlenstoffgehalt ($Q_{mic-CFE}$ und $Q_{mic-SIR}$). Fehlerbalken stellen die Standardabweichung aus vier Einzelergebnissen dar.

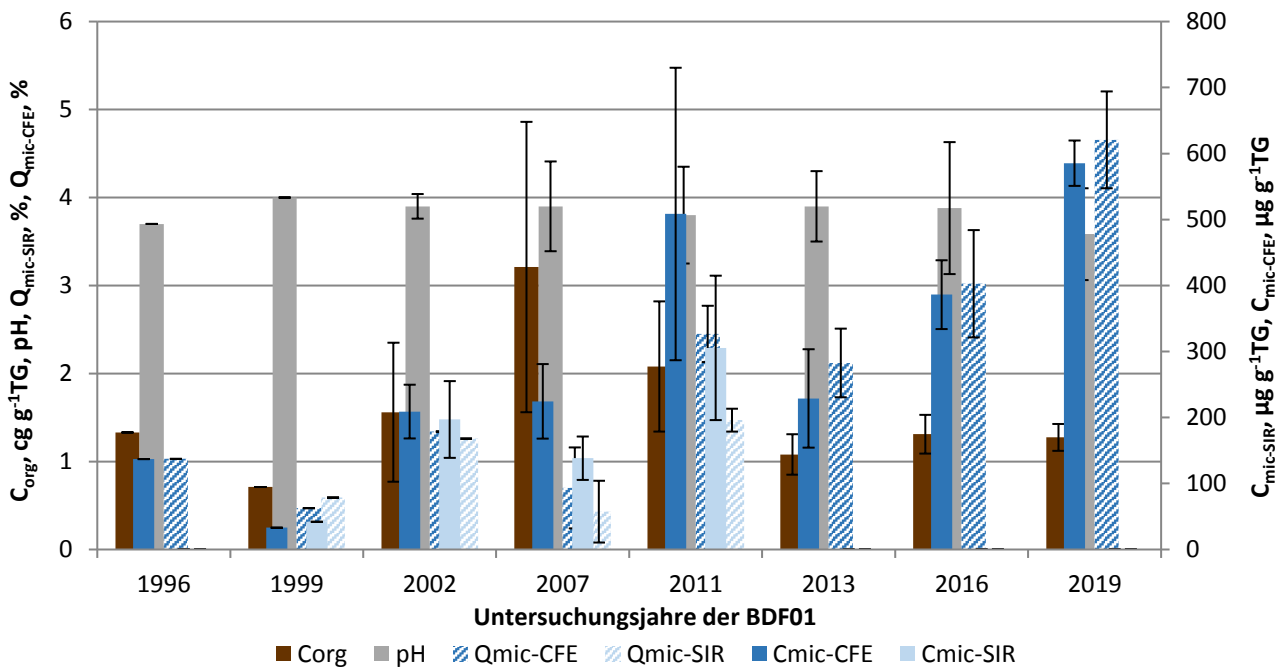


Abbildung 4.3: Ergebnisse der BDF01 (Mineraloberboden) der gesamten Untersuchungsjahre des organischen Kohlenstoffgehaltes (C_{org}), des pH-Wertes, der gesamten ($C_{mic-CFE}$) und der glucoseaktivierten ($C_{mic-SIR}$) mikrobiellen Biomasse und des Anteils dieser Biomasse am organischen Kohlenstoffgehalt ($Q_{mic-CFE}$ und $Q_{mic-SIR}$). Fehlerbalken stellen die Standardabweichung aus vier Einzelergebnissen dar.

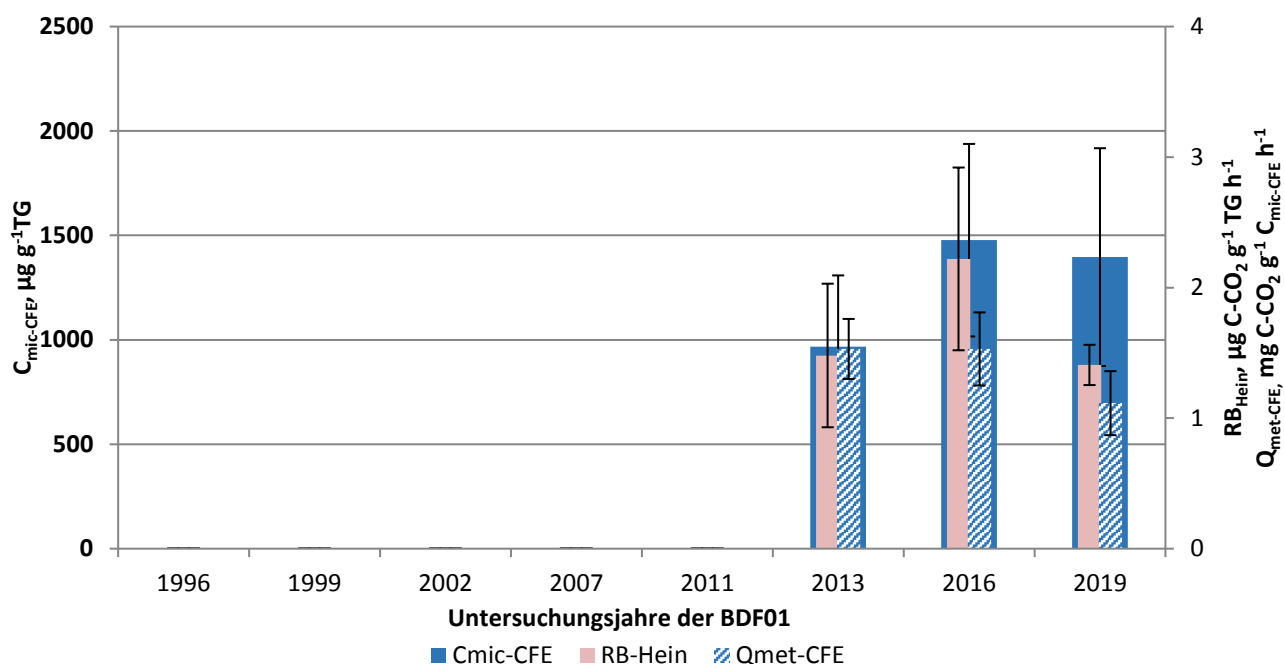


Abbildung 4.4: Ergebnisse der mikrobiellen Aktivität der BDF01 (organische Auflage) der gesamten Untersuchungsjahre, dargestellt anhand der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$), ihrer Basalatmung (R_{B-Hein}) und der mikrobiellen Aktivität ($Q_{met-CFE}$) bezogen auf das Trockengewicht.

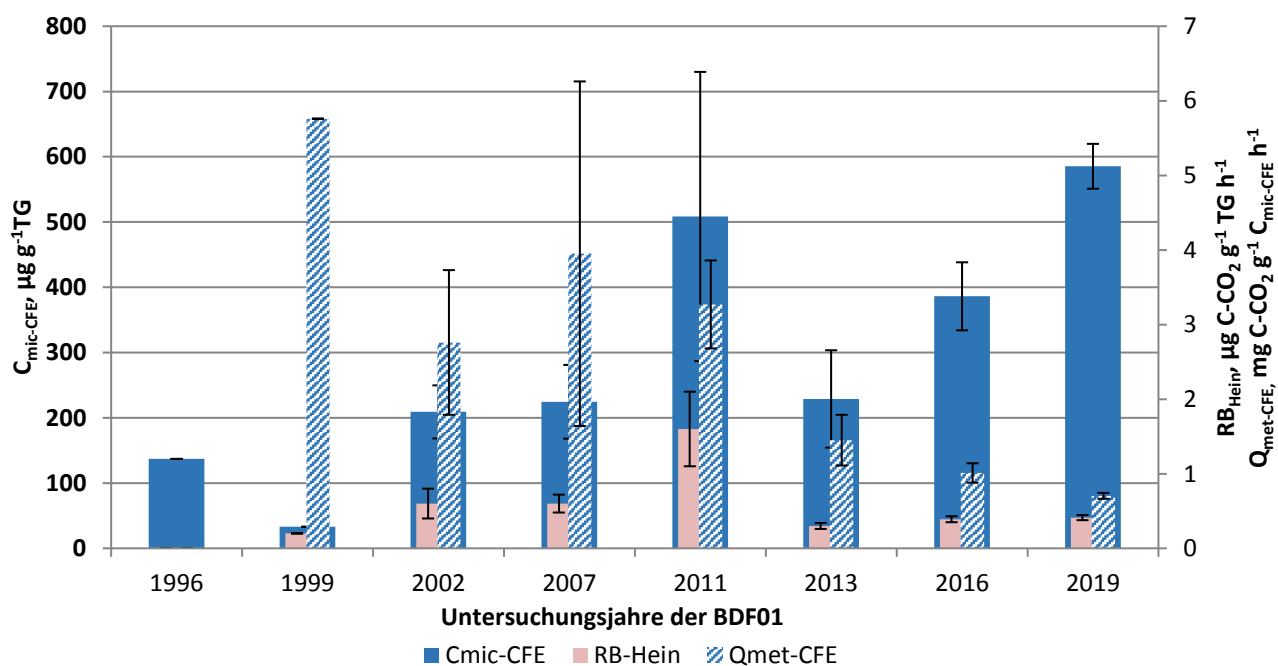


Abbildung 4.5: Ergebnisse der mikrobiellen Aktivität der BDF01 (Mineraloberboden) der gesamten Untersuchungsjahre, dargestellt anhand der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$), ihrer Basalatmung (R_{B-Hein}) und der mikrobiellen Aktivität ($Q_{met-CFE}$) bezogen auf das Trockengewicht.

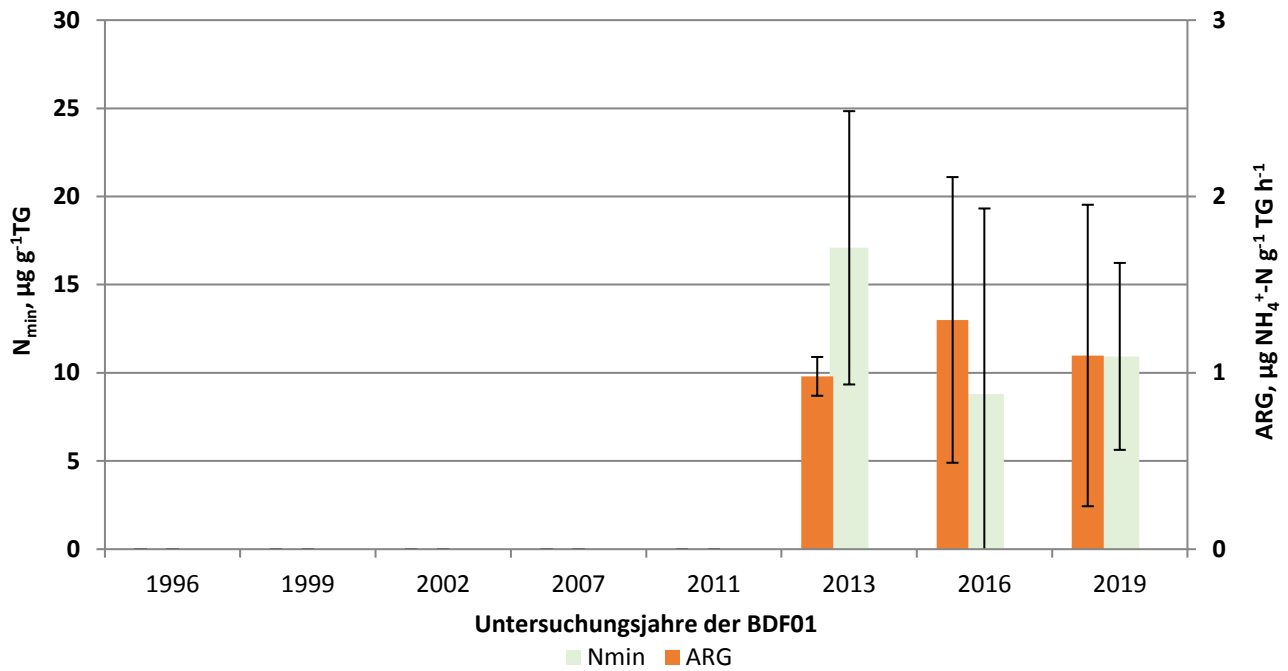


Abbildung 4.6: Darstellung des löslichen Stickstoffs (N_{min}) und der Argininammonifikation (ARG) der gesamten Untersuchungsjahre der BDF01 (organische Auflage).

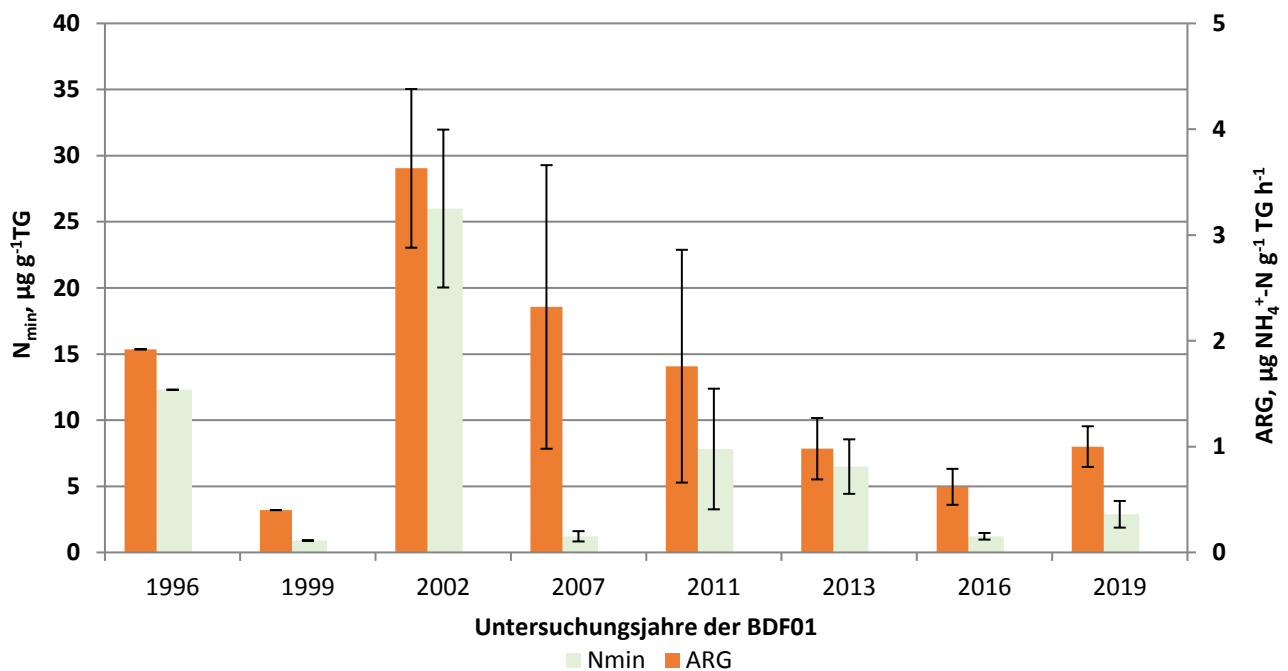


Abbildung 4.7: Darstellung des löslichen Stickstoffs (N_{min}) und der Argininammonifikation (ARG) der gesamten Untersuchungsjahre der BDF01 (Mineraloberboden).

Tabelle 4.5: Vergleich von mikrobiologischen und abiotischen Analyseergebnissen aus den acht Beprobungsjahren der BDF01. Angegeben ist jeweils der Mittelwert aus mindestens drei Parallelen und, wenn berechnet, die Standardabweichung dieses Wertes. Eine genauere Beschreibung der Tabelle ist im Anhang A 7.

Jahr	Boden- horizont Tiefe, cm	$C_{mic-CFE}$	$C_{mic-SIR}$ Hein	$N_{mic-CFE}$	$R_B\text{-Hein}$	ARG	$Q_{met-CFE}$ $R_B\text{-Hein} /$ $C_{mic-CFE}$	$Q_{met-SIR}$ $R_B\text{-Hein} /$ $C_{mic-SIR}$	N_{min}	C_{org}	N_t	C_{org} / N_t
		$\mu\text{g g}^{-1}\text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1}\text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1}\text{TG}$	$\mu\text{g CO}_2\text{-C}$ $\text{g}^{-1}\text{TG h}^{-1}$	$\mu\text{g NH}_4^{+}\text{-N}$ $\text{g}^{-1}\text{TG h}^{-1}$	$\mu\text{g CO}_2\text{-C}$ $\text{mg}^{-1} C_{mic-CFE}$ h^{-1}	$\mu\text{g CO}_2\text{-C}$ $\text{mg}^{-1} C_{mic-SIR}$ h^{-1}	$\mu\text{g g}^{-1}\text{TG}$	$\text{cg g}^{-1}\text{TG}$	$\text{cg g}^{-1}\text{TG}$	
1996	A bis -5	137	n.b.	42	n.b.	1,9	n.b.	n.b.	12,3	1,3	0,1	11,2
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
1999	A bis -5	33	42	5	0,2	0,4	5,8	4,5	0,9	0,7	0,1	11,5
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
2002	A bis -5	209	197	39	0,6	3,6	2,8	2,9	26,0	1,6	0,1	23,7
		± 41	± 58	± 13	$\pm 0,2$	$\pm 0,8$	$\pm 1,0$	$\pm 0,4$	$\pm 6,0$	$\pm 0,8$	$\pm 0,1$	$\pm 11,2$
2007	A bis -5	225	138	n.b.	0,6	2,3	4,0	6,4	1,2	3,2	0,1	27,9
		± 57	± 33	n.b.	$\pm 0,1$	$\pm 1,3$	$\pm 2,3$	$\pm 3,9$	$\pm 0,4$	$\pm 1,7$	$\pm 0,0$	$\pm 19,1$
2011	A bis -5	508	306	n.b.	1,6	1,8	3,3	5,2	7,8	2,1	0,1	14,4
		± 222	± 109	n.b.	$\pm 0,5$	$\pm 1,1$	$\pm 0,6$	$\pm 0,3$	$\pm 4,6$	$\pm 0,7$	$\pm 0,1$	$\pm 0,8$
2013	Ofh bis +2,25	967	n.b.	63	1,5	1,0	1,5	n.b.	17,1	3,9	0,3	14,7
		± 341	n.b.	± 18	$\pm 0,6$	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$	n.b.	$\pm 7,8$	$\pm 1,4$	$\pm 0,1$	$\pm 1,3$
2013	A bis -5	229	n.b.	18	0,3	1,0	1,5	n.b.	6,5	1,1	0,1	11,3
		± 75	n.b.	± 7	$\pm 0,0$	$\pm 0,3$	$\pm 0,3$	n.b.	$\pm 2,1$	$\pm 0,2$	$\pm 0,0$	$\pm 0,7$
2016	Ofh bis +2,3	1477	n.b.	133	2,2	1,3	1,5	n.b.	8,8	4,1	0,3	15,6
		± 461	n.b.	± 58	$\pm 0,7$	$\pm 0,8$	$\pm 0,3$	n.b.	$\pm 10,5$	$\pm 1,6$	$\pm 0,1$	$\pm 1,4$
2016	Aeh bis -5	386	n.b.	34	0,4	0,6	1,0	n.b.	1,2	1,3	0,1	12,3
		± 52	n.b.	± 8	$\pm 0,0$	$\pm 0,2$	$\pm 0,1$	n.b.	$\pm 0,3$	$\pm 0,2$	$\pm 0,0$	$\pm 0,9$
2019	Ofh bis +2,6	1396	n.b.	76	1,4	1,1	1,1	n.b.	10,9	3,4	0,2	17,1
		± 521	n.b.	± 14	$\pm 0,2$	$\pm 0,9$	$\pm 0,2$	n.b.	$\pm 5,3$	$\pm 1,1$	$\pm 0,1$	$\pm 2,1$
2019	Aeh bis -5	585	n.b.	26	0,4	1,0	0,7	n.b.	2,9	1,3	0,1	14,0
		± 34	n.b.	± 2	$\pm 0,0$	$\pm 0,2$	$\pm 0,0$	n.b.	$\pm 1,0$	$\pm 0,2$	$\pm 0,0$	$\pm 1,1$

Fortsetzung: Tabelle 4.5

Jahr	Boden- horizont	$C_{mic-CFE} /$ Fläche	$C_{mic-SIR} /$ Fläche	$N_{mic-CFE} /$ Fläche	$R_{B-Hein} /$ Fläche	ARG / Fläche	$Q_{mic-CFE} /$ $C_{mic-CFE} /$ C_{org}	$Q_{mic-SIR} /$ $C_{mic-SIR} /$ C_{org}	$N_{min} /$ Fläche	$C_{org} /$ Fläche	$N_t /$ Fläche	pH
		$g\ m^{-2}$	$g\ m^{-2}$	$g\ m^{-2}$	$mg\ CO_2-C$ $m^{-2}\ h^{-1}$	$mg\ NH_4^+-$ $N\ m^{-2}\ h^{-1}$	%	%	$kg\ ha^{-1}$	$g\ m^{-2}$	$g\ m^{-2}$	
1996	A bis -5	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	1,0	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	3,7
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
1999	A bis -5	2,3	2,9	0,3	13,0	27,4	0,5	0,6	0,6	486	82	4,0
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
2002	A bis -5	14,3	13,5	2,7	38,9	248,3	1,3	1,3	17,8	1067	51	3,9
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	± 0,1
2007	A bis -5	13,4	8,2	n.b.	37,6	138,2	0,7	0,4	0,7	1907	74	3,9
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	± 0,5	± 0,4	n.b.	n.b.	n.b.	± 0,5
2011	A bis -5	28,0	16,8	n.b.	86,2	96,8	2,5	1,5	4,3	1141	79	3,8
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	± 0,3	± 0,1	n.b.	n.b.	n.b.	± 0,6
2013	Ofh bis +2,25	20,6	n.b.	1,2	29,2	17,2	2,5	n.b.	3,0	840	55	3,8
		± 23,2	n.b.	± 1,1	± 29,9	± 12,8	± 0,1	n.b.	± 2,9	± 967	± 60	± 0,6
2013	A bis -5	13,6	n.b.	1,1	19,7	58,0	2,1	n.b.	3,9	639	58	3,9
		± 5,1	n.b.	± 0,5	± 9,6	± 17,2	± 0,4	n.b.	± 1,4	± 157	± 13	± 0,4
2016	Ofh bis +2,3	22,5	n.b.	2,0	33,8	19,8	3,9	n.b.	1,3	622	40	3,9
		± 7,0	n.b.	± 0,9	± 10,7	± 12,3	± 0,9	n.b.	± 1,6	± 242	± 17	± 0,8
2016	Aeh bis -5	25,7	n.b.	2,2	25,7	41,2	3,0	n.b.	0,8	870	71	3,9
		± 3,5	n.b.	± 0,6	± 2,7	± 11,3	± 0,6	n.b.	± 0,2	± 146	± 9	± 0,8
2019	Ofh bis +2,6	26,7	n.b.	1,5	26,9	21,0	4,1	n.b.	2,1	652	38	3,7
		± 10,0	n.b.	± 0,3	± 3,0	± 16,4	± 0,9	n.b.	± 1,0	± 211	± 10	± 0,6
2019	Aeh bis -5	42,1	n.b.	1,8	29,6	72,0	4,7	n.b.	2,1	917	66	3,6
		± 2,5	n.b.	± 0,2	± 2,5	± 13,8	± 0,6	n.b.	± 0,7	± 110	± 6	± 0,5

4.1.4 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zu abiotischen Standortfaktoren

Der Gehalt des mikrobiellen Stickstoffs ($N_{\text{mic-CFE}}$) im Mineraloberboden korreliert signifikant mit dem Gehalt des organischen Kohlenstoffs (C_{org}) im Boden ($r = 0,939$, $p < 0,05$, $N = 5$). Mit zunehmendem C_{org} -Gehalt stieg auch der Gehalt des mikrobiellen Stickstoffs an. Zudem besteht eine signifikante Korrelation zwischen dem Gehalt der löslichen Stickstoffverbindungen (N_{min}) und der Argininammonifikation (ARG, $r = 0,811$, $p < 0,05$, $N = 7$). Der N_{min} -Gehalt reduzierte sich mit abnehmender ARG-Aktivität. Auch der pH korreliert signifikant negativ sowohl mit der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{\text{mic-SIR}}$, $r = -0,976$, $p < 0,05$, $N = 4$) als auch mit der Basalatmung ($R_{\text{B-Hein}}$, $r = -0,827$, $p < 0,05$, $N = 6$). In Gegenwart niedriger pH-Werte wurden somit höhere mikrobielle Biomassen und Atmungsaktivitäten nachgewiesen. Die pH-Schwankungen waren über den gesamten Untersuchungszeitraum jedoch wesentlich geringer als die Schwankungen der Basalatmung und des $C_{\text{mic-SIR}}$ -Gehaltes.

Für die organische Auflage können keine Korrelationen angegeben werden, da lediglich Daten dreier Untersuchungsjahre vorliegen. Während die bodenmikrobiologischen Parameter ($C_{\text{mic-CFE}}$, $Q_{\text{mic-CFE}}$, $R_{\text{B-Hein}}$, ARG) zwischen den Untersuchungsjahren 2013 und 2019 zum Teil größere Anstiege zeigen, veränderten sich pH und C_{org} nur unwesentlich, während der N_{min} -Gehalt um etwa die Hälfte zurückging.

4.1.5 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zum Klima und zur Witterung

Der mikrobielle Quotient der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{\text{mic-SIR}}$) zeigt eine signifikante Korrelation mit den Niederschlägen der jeweils vergangenen Hauptvegetationsperioden ($r = 0,973$, $p < 0,05$, $N = 4$), was mit einem Anstieg des $Q_{\text{mic-SIR}}$ mit zunehmenden Niederschlägen im Vorjahr verbunden war. Dieser Zusammenhang besteht jedoch nur für den Zeitraum 1999 bis 2011, in dem die glucoseaktivierte mikrobielle Biomasse untersucht wurde.

4.1.6 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Bewirtschaftung

Das Dünengebiet um die BDF herum dient Schafen und Kaninchen als Weide. Da keine künstliche Düngung erfolgt, sind die Stoffeinträge auf die tierischen Ausscheidungen und auf die Nordseegischt beschränkt. Die punktuellen Nährstoffeinträge verbunden mit der fehlenden Bodenbearbeitung sowie mit den abiotischen Standortfaktoren bieten den Mikroorganismen keine günstigen Bedingungen zum Wachstum. Dennoch war zum Untersuchungsjahr 2019 ein Anstieg im Gehalt der mikrobiellen Biomasse zu beobachten. Ob sich im gleichen Zeitraum auch Veränderungen an der Intensität der Beweidung ergeben haben, ist nicht bekannt.

4.1.7 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Vegetationskunde

Die vegetationskundliche Untersuchung erfolgte zuletzt im Jahr 2015. Es wurden dabei räumlich differenzierte Vegetationseinheiten klassifiziert. Anhand der zugeordneten N-Werte wurde die Vegetation mit Zeigern für extreme Stickstoffarmut bis mäßigen Stickstoffreichtum klassifiziert (Brandt, 2016). Dieses macht sich in der heterogenen Stickstoffverteilung insbesondere zwischen der Weißdüne und der Graudüne bemerkbar, was anhand der N_{min} -Gehalte in den organischen Auflagen an den vier Probenahmestrecken zu erkennen ist. Gegenüber der Voruntersuchung 2009 zeigte sich im Mittel eine leichte Abnahme der Stickstoffzahl. Für die Bodenmikrobiologie deutet dies auf eine geringe Versorgung mit Stickstoff hin. Die Ammonifikationsaktivität (ARG) war seit 2002 kontinuierlich rückläufig. Ebenso ist die Versorgung mit organischem Kohlenstoff aufgrund der

geringen Humusakkumulation gering, was limitierend auf das Wachstum der mikrobiellen Biomasse wirken kann.

4.1.8 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Bodenzoologie

Die letzte bodenzoologische Untersuchung auf der BDF01 wurde im Jahr 2015 durchgeführt. Es wurde eine deutliche Zunahme der Kleinringelwürmer zwischen 2008 und 2015 sowie 2015 ein erstmaliges Auftreten von Regenwürmern beobachtet. Diese Belebung des Bodens spiegelt sich auch in der mikrobiellen Aktivität wider, welche zum Untersuchungsjahr 2016 zugenommen hat.

4.2 BDF21 Speicherkoog/Dithmarschen

4.2.1 Situation zur Probenahme

Tabelle 4.6: Temperatur und Niederschlag zum Jahreswechsel 2018/2019 der BDF21. Monatsdurchschnittstemperatur in °C, Monatsniederschlagssumme in mm.

Jahr	Monat	Monatsdurchschnitts- temperatur, °C	Niederschlag, mm/Monat
2018	Oktober	11,7	46
	November	6,1	26
	Dezember	5,3	71
2019	Januar	2,4	46
	Februar	4,9	43
	März	6,7	98
Dez. 18 - Feb. 19		4,2	160

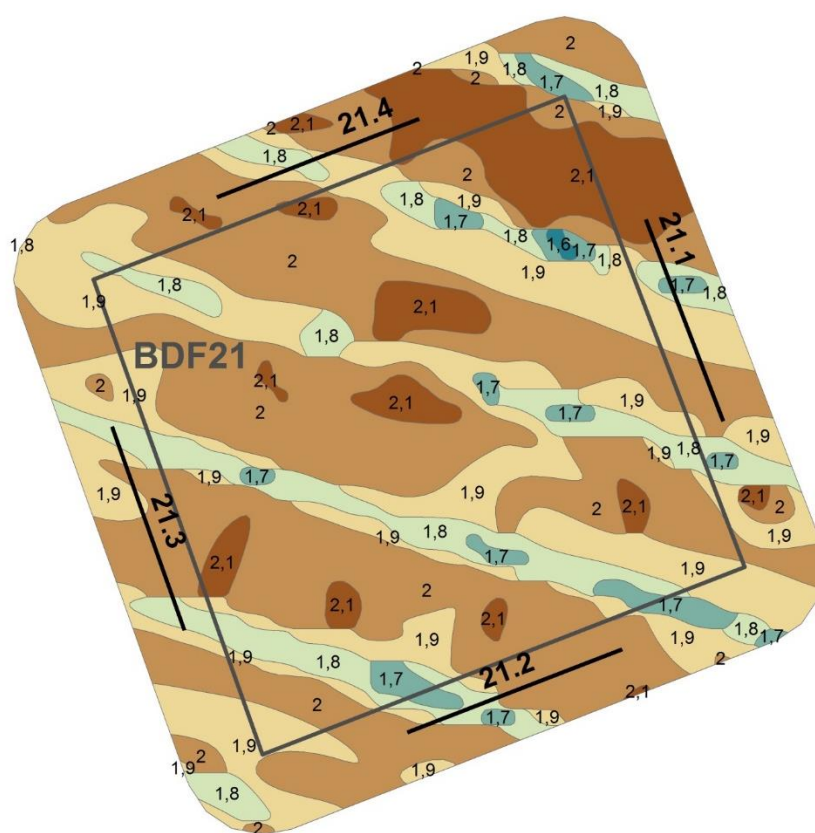


Abbildung 4.8: Lage der Probenentnahmestellen an der BDF21 (21.1-4).

Tabelle 4.7: Bedingungen während der Probenentnahme an der BDF21 (Probenentnahmeprotokoll). Für die Witterungsverhältnisse und die Bodenbeschaffenheit sind die Abkürzungen nach Ad-Hoc-ARBEITSGRUPPE BODEN, 2005, angegeben.

Bearbeiter	Herr Dr. Elsner
Datum	12.03.2019
Beginn	09:10 Uhr
Temperatur, GOF	5,3°C
Temperatur, 10cm	4,7°C
Frost	12 Tage
Niederschlag	mäß. Niederschläge seit 24 Std.
Bodenfeuchte	stark feucht, weich
Wasserüberstau	
Vegetation, Zusammensetzung	Gräser, Kräuter, Ruderalarten, Pionierhölzer
Nutzungsspuren	Grasüberstand aus letztem Jahr
Pflegemaßnahmen	nicht erkennbar
Tiereinflüsse	
Düngespuren	nicht erkennbar
Vegetation, Einheitlichkeit	uneinheitlich
Höhe Vegetation	> 25 cm
Bodenbedeckung	geschlossen, kein freier Boden
Bemerkung	Wasser in Gräben, Wasser im Rohr: 0,53 m

4.2.2 Analyseergebnisse und Klassifikation

Die BDF21 Speicherkoog befindet sich auf einer Sukzessionsfläche aus tidal-marinen Sedimenten, welche durch Gräben entwässert wird. Die Bodenform ist Kalkmarsch aus holozänen, marinen Tonen und Schluffen. Die abiotischen Parameter sind in der Tabelle 4.8 dargestellt.

Der 2,5 cm tief beprobte **Oberboden mit organischer Auflage** (Ofh&Ah) der BDF21 ist im Vergleich zu dem beprobten Mineralboden durch höhere Kohlenstoff- und Stickstoffgehalte (C_{org} , N_t , N_{min}) gekennzeichnet. Das C_{org}/N_t -Verhältnis weist jedoch einen höheren Wert auf, welcher die Humusqualität als hoch kennzeichnet. Der pH-Wert liegt mit 6,7 zudem im sehr schwach sauren Bereich. Die bodenmikrobiologischen Parameter werden für bindige Grünlandböden als mittel hoch bis hoch eingestuft. Hohe Werte weisen dabei die gesamte und glucoseaktivierte mikrobielle Biomasse ($C_{mic-CFE}$, $N_{mic-CFE}$, $C_{mic-SIR}$) sowie die Basalatmung (R_{B-Hein}) und der mikrobielle Quotient ($Q_{mic-CFE}$) auf. Mittelhohe Werte zeigen sich bei der Argininammonifikation, bei dem mikrobiellen Quotienten der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{mic-SIR}$) sowie bei beiden metabolischen Quotienten ($Q_{met-CFE}$ und $Q_{met-SIR}$). Die relative mikrobielle Abundanz und Stoffwechseleffizienz sind im Oberboden mit organischer Auflage niedriger als im reinen Mineraloberboden.

Der **mineralische Oberboden** wurde von 2,5 bis 10 cm beprobt und wird nach Ad hoc AG-Boden (2005) anhand des C_{org} -Gehaltes als stark humos eingestuft, wobei die Qualität der organischen Substanz durch das enge C_{org}/N_t -Verhältnis von ca. 10 als sehr hoch klassifiziert wird. Die BDF21 weist damit eine der höchsten Humusqualitäten aller im Jahr 2019 untersuchten Grünlandstandorte auf. Trotz dessen liegt der N_t -Gehalt unter dem Durchschnitt der übrigen Grünland-BDF. Der N_{min} -Gehalt und der Nitratgehalt werden als mittel hoch eingestuft, der Ammoniumgehalt hingegen als hoch. Auch eine Nitritkonzentration konnte nachgewiesen werden. Die Trockenrohdichte des Mineraloberbodens wird als sehr gering eingestuft. Die Bodenacidität liegt aufgrund des marinen Ausgangssubstrates (0,2 % C_{anorg} -Gehalt) mit einem pH-Wert von 6,9 im neutralen pH-Bereich und damit deutlich höher als der Durchschnitt aller Grünland-BDF.

Die bodenmikrobiologischen Parameter befinden sich in der Tabelle 4.9. Die mikrobielle Biomasse des Mineraloberbodens ($C_{mic-CFE}$) wird für bindige Grünlandböden als mittel hoch klassifiziert. Auch die Basalatmung (R_{B-Hein}) erreicht einen mittel hohen Wert. Der Gehalt der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$) sowie des mikrobiellen Stickstoffs ($N_{mic-CFE}$) liegt hingegen im hohen Bereich. Die Argininammonifikation (ARG) im Mineraloberboden wird als gering eingestuft. Die mikrobiellen Quotienten ($Q_{mic-CFE}$ und $Q_{mic-SIR}$) weisen hohe Werte auf. Der metabolische Quotient ($Q_{met-CFE}$) wird als niedrig eingestuft, während der metabolische Quotient der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{met-SIR}$) mittel hoch ist.

Tabelle 4.8: Ergebnisse der bodenchemischen Analyse 2019 für die BDF21 (Speicherkoog). Aufgeführt sind der organische Kohlenstoffgehalt (C_{org}) und der Gesamtstickstoffgehalt (N_t) in $cg\ g^{-1}TG$, sowie das Verhältnis von organischem Kohlenstoff zu Stickstoff im Boden (C_{org} / N_t), der gelöste Stickstoffgehalt (N_{min}) berechnet aus der Summe von Ammonium (NH_4^+-N), Nitrit ($NO_2^- - N$) und Nitrat ($NO_3^- - N$), die Trockenroh-dichte in $g\ TG\ cm^{-3}$, der Wassergehalt in $mg\ g^{-1}\ TG$ und der pH gemessen in $CaCl_2$. Die Werte stellen jeweils den Mittelwert aus acht Parallelen dar und sind mit der Standardabweichung angegeben. Farbkodierungen zur Bewertung siehe Anhang Tabelle A 2, A 3, A 4 und A 5.

Boden-horizont	C_{org}	N_t	C_{org} / N_t	N_{min}	$NH_4^+ - N$	$NO_2^- - N$	$NO_3^- - N$
Tiefe, cm	$cg\ g^{-1}\ TG$	$cg\ g^{-1}\ TG$		$\mu g\ g^{-1}\ TG$	$\mu g\ g^{-1}\ TG$	$\mu g\ g^{-1}\ TG$	$\mu g\ g^{-1}\ TG$
Ofh&Ah bis -2,5	4,5	0,4	10,9	38,9	21,6	3,8	13,4
	$\pm 0,1$	$\pm 0,0$	$\pm 0,1$	$\pm 8,0$	$\pm 12,0$	$\pm 0,9$	$\pm 6,8$
Ah bis -10	3,2	0,3	9,9	22,9	12,6	2,8	7,6
	$\pm 0,2$	$\pm 0,0$	$\pm 0,2$	$\pm 5,9$	$\pm 7,3$	$\pm 0,9$	$\pm 4,1$

Boden-horizont	$C_{org} / \text{Fläche}$	$N_t / \text{Fläche}$	$N_{min} / \text{Fläche}$	$N_{min} / \text{Fläche}$	Trocken-roh-dichte	Wasser-gehalt	C_{anorg}	pH
Tiefe, cm	$g\ m^{-2}$ Horizonttiefe	$g\ m^{-2}$ Horizonttiefe	$g\ m^{-2}$ Horizonttiefe	$kg\ N\ ha^{-1}$ Horizonttiefe	$g\ TG\ cm^{-3}$	$mg\ g^{-1}\ TG$	$cg\ g^{-1}\ TG$	
Ofh&Ah bis -2,5	1107	101	1,0	9,5	1,0	608	0,2	6,7
	± 17	± 1	$\pm 0,2$	$\pm 2,0$	$\pm n.b.$	± 31	$\pm 0,0$	$\pm 0,1$
Ah bis -10	2330	235	1,7	16,8	1,0	466	0,2	6,9
	± 143	± 12	$\pm 0,4$	$\pm 4,3$	$\pm n.b.$	± 17	$\pm 0,0$	$\pm 0,1$

Tabelle 4.9: Ergebnisse der bodenmikrobiologischen Analyse 2019 für die BDF21 (Speicherkoog). Aufgeführt ist der mikrobielle Kohlenstoffgehalt, gemessen mit der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($C_{mic-CFE}$) und über die Substratinduzierte Atmung (SIR) mit der Heinemeyeranalyse ($C_{mic-SIR}$), außerdem der mikrobielle Stickstoffgehalt, gemessen mit der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($N_{mic-CFE}$). Angegeben sind weiterhin die mikrobielle Basalatmung, gemessen als CO_2 -Produktionsrate mithilfe der Heinemeyeranlage (R_{B-Hein}) und die potentielle Ammonifikation nach der Arginin-Ammonifikationsmethode (ARG). Des weiteren sind der metabolische Quotient und der mikrobielle Quotient jeweils aus den Ergebnissen der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($C_{mic-CFE}$) und der Heinemeyeranlage ($C_{mic-SIR}$) berechnet. Die Werte stellen jeweils den Mittelwert aus acht Parallelen dar und sind mit der Standardabweichung angegeben. Farbkodierungen siehe Anhang A 6. Im unteren Teil der Tabelle sind die verschiedenen Parameter bezogen auf die Fläche angegeben.

Boden-horizont	$C_{mic-CFE}$	$C_{mic-SIR}$	$N_{mic-CFE}$	R_{B-Hein}	ARG	$Q_{mic-CFE}$ $C_{mic-CFE} / C_{org}$	$Q_{mic-SIR}$ $C_{mic-SIR} / C_{org}$
Tiefe, cm	$\mu g\ g^{-1} TG$	$\mu g\ g^{-1} TG$	$\mu g\ g^{-1} TG$	$\mu g\ CO_2-C$ $g^{-1} TG\ h^{-1}$	$\mu g\ NH_4^+-N$ $g^{-1} TG\ h^{-1}$	%	%
Ofh&Ah bis -2,5	1632	928	162	2,4	5,4	3,6	2,1
	± 70	± 79	± 11	$\pm 0,5$	$\pm 1,1$	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$
Ah bis -10	1325	1018	131	1,6	4,2	4,2	3,2
	± 118	± 115	± 12	$\pm 0,4$	$\pm 0,4$	$\pm 0,2$	$\pm 0,2$

Boden-horizont	$C_{mic-CFE} /$ Fläche	$C_{mic-SIR} /$ Fläche	$N_{mic-CFE} /$ Fläche	$R_{B-Hein} /$ Fläche	ARG / Fläche	$Q_{met-CFE}$ $R_{B-Hein} / C_{mic-CFE}$	$Q_{met-SIR}$ $R_{B-Hein} / C_{mic-SIR}$
Tiefe, cm	$g\ m^{-2}$ Horizonttiefe	$g\ m^{-2}$ Horizonttiefe	$g\ m^{-2}$ Horizonttiefe	$mg\ CO_2-C$ $m^{-2}\ h^{-1}$ Horizonttiefe	$mg\ NH_4^+-N$ $m^{-2}\ h^{-1}$ Horizonttiefe	$\mu g\ CO_2-C$ $mg^{-1} C_{mic-CFE}\ h^{-1}$	$\mu g\ CO_2-C$ $mg^{-1} C_{mic-SIR}\ h^{-1}$
Ofh&Ah bis -2,5	40	23	4,0	60	133	1,5	2,7
	± 2	± 2	$\pm 0,3$	± 13	± 27	$\pm 0,3$	$\pm 0,6$
Ah bis -10	97	75	9,6	120	308	1,2	1,6
	± 9	± 8	$\pm 0,9$	± 26	± 28	$\pm 0,2$	$\pm 0,2$

4.2.3 Zeitreihenvergleich

Der Zeitreihenvergleich für die organische Auflage bzw. ab 2016 **organische Auflage mit Mineralboden** der BDF21 basiert bisher lediglich auf den Untersuchungsergebnissen der Jahre 2013, 2016 und 2019. Die Entwicklung ist gekennzeichnet durch eine deutliche Abnahme des Gehalts organischen Kohlenstoffs (C_{org}) sowie durch eine geringfügige pH-Senkung. Der Gehalt der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$) sowie deren Anteil am C_{org} -Gehalt ($Q_{mic-CFE}$) reduzierten sich ebenfalls deutlich zum Jahr 2016. Zum Jahr 2019 setzte sich die Abnahme des C_{org} -Gehaltes sowie der mikrobiellen Biomassen ($C_{mic-CFE}$, $C_{mic-SIR}$) und der mikrobiellen Quotienten ($Q_{mic-CFE}$, $Q_{mic-SIR}$) weiter fort. (Abbildung 4.9). Auch die Basalatmung (R_{B-Hein}) reduzierte sich zum Jahr 2019, während der metabolische Quotient ($Q_{met-CFE}$) nahezu unverändert blieb (Abbildung 4.11). Ebenso reduzierte sich der Gehalt mineralischer Stickstoffverbindungen (N_{min}) in der organischen Auflage zum Jahr 2016 während die Argininammonifikation (ARG) merklich angestiegen ist. Zum Jahr 2019 nahm die Argininammonifikation deutlich ab, während die N_{min} -Gehalte leicht angestiegen sind (Abbildung 4.13). Der mineralische Stickstoff konnte durch die verringerte Aktivität der Mikroorganismen im Boden akkumulieren.

Der Gehalt des organischen Kohlenstoffs (C_{org}) im **Mineraloberboden** der BDF21 schwankte im gesamten Untersuchungszeitraum (Abbildung 4.10). Zwischen den Untersuchungsjahren 1996 und 2002 nahm der C_{org} -Gehalt ab, stieg dann zum Jahr 2007 jedoch auf den bisherigen Höchststand. Es folgte eine deutliche Abnahme zum Jahr 2011, seit dem der C_{org} -Gehalt bis 2019 weitgehend unverändert blieb. Auch die Bodenacidität zeigte deutliche Schwankungen. Zwischen den Jahren 1996 und 2002 stieg der Boden-pH merklich an, fiel im Jahr 2007 jedoch stark ab. Zum Jahr 2011 stieg der pH erneut und sank bis zum Jahr 2016 nur geringfügig. Zum Jahr 2019 zeigte sich eine leichte pH-Zunahme. Die mikrobielle Biomasse ($C_{mic-CFE}$) nahm zwischen den Jahren 1999 und 2011 kontinuierlich und stark zu und versechsfachte sich in diesem Zeitraum. Zwischen 2011 und 2013 zeigte sich keine nennenswerte Veränderung, zum Untersuchungsjahr 2016 stieg der $C_{mic-CFE}$ -Gehalt jedoch weiter auf den bisherigen Höchstwert. Zum Jahr 2019 erfolgte ein leichter Rückgang. Auffällig ist, dass zwischen den Jahren 1996 und 1999 eine sehr starke Abnahme der mikrobiellen Biomasse erfolgt ist. Die glucoseaktivierte mikrobielle Biomasse ($C_{mic-SIR}$) nahm zwischen 1999 und 2013 ebenfalls deutlich zu, jedoch erfolgte dies nicht mit einer konstanten Rate. Nach einem leichten Rückgang zwischen 2013 und 2016 folgte eine Zunahme auf den bisherigen Höchststand im Jahr 2019. Die mikrobiellen Quotienten ($Q_{mic-CFE}$ und $Q_{mic-SIR}$) nahmen zwischen den Untersuchungsjahren 1996 und 2011 ebenfalls zu und blieben bis 2013 weitgehend unverändert. Zwischen den Jahren 2016 und 2019 blieb der $Q_{mic-CFE}$ unverändert, während der $Q_{mic-SIR}$ leicht anstieg.

Der zeitliche Verlauf der Basalatmung im Mineraloberboden (R_{B-Hein} , Abbildung 4.12) begann zunächst beständig mit relativ geringen Respirationsraten in den Jahren 1999 und 2002. In den nachfolgenden Untersuchungsjahren zeigten sich deutliche Zu- und Abnahmen der Basalatmung, welche sich jeweils abwechselten. Die Höchstwerte entfallen dabei auf die Jahre 2007 und 2013. Zum Jahr 2016 reduzierte sich die Respiration um etwa ein Drittel. Der metabolische Quotient ($Q_{met-CFE}$) zeigte zunächst eine deutliche Abnahme im Zeitraum der Jahre 1999 bis 2011. Es folgten ein Anstieg des $Q_{met-CFE}$ zum Jahr 2013 sowie eine erneute Abnahme zum Jahr 2016 auf den bisher niedrigsten Wert. Zum Jahr 2019 blieben sowohl die Basalatmung als auch der metabolische Quotient nahezu unverändert.

Die Entwicklung der Argininammonifikation (ARG) und des Gehaltes an löslichen Stickstoff (N_{\min}) ist in der Abbildung 4.14 dargestellt. Zu erkennen ist, dass der Gehalt des löslichen Stickstoffs im Mineraloberboden im Zeitraum zwischen 1996 und 2007 stark abfiel, dann jedoch zum Untersuchungsjahr 2011 eine sehr starke Zunahme um den Faktor 19 erfuhr. Zum Untersuchungsjahr 2013 erfolgte eine Abnahme des löslichen Stickstoffs um mehr als die Hälfte, zum Untersuchungsjahr 2016 setzte sich die Abnahme des N_{\min} -Gehaltes weiter fort. Die Argininammonifikation verhielt sich in ihrer Entwicklung zunächst ähnlich wie der N_{\min} -Gehalt, jedoch erfolgte der Anstieg bereits im Jahr 2007. Nach einer weiteren, leichten Zunahme zum Jahr 2011 folgte eine Abnahme der Argininammonifikation um etwa die Hälfte zum Jahr 2013. Zum Jahr 2016 stieg die ARG erneut an. Ein geringer ARG-Wert bedingte geringe N_{\min} -Werte. Zwischen den Jahren 2016 und 2019 nahm die ARG leicht ab, während der N_{\min} -Gehalt sich nicht merklich veränderte.

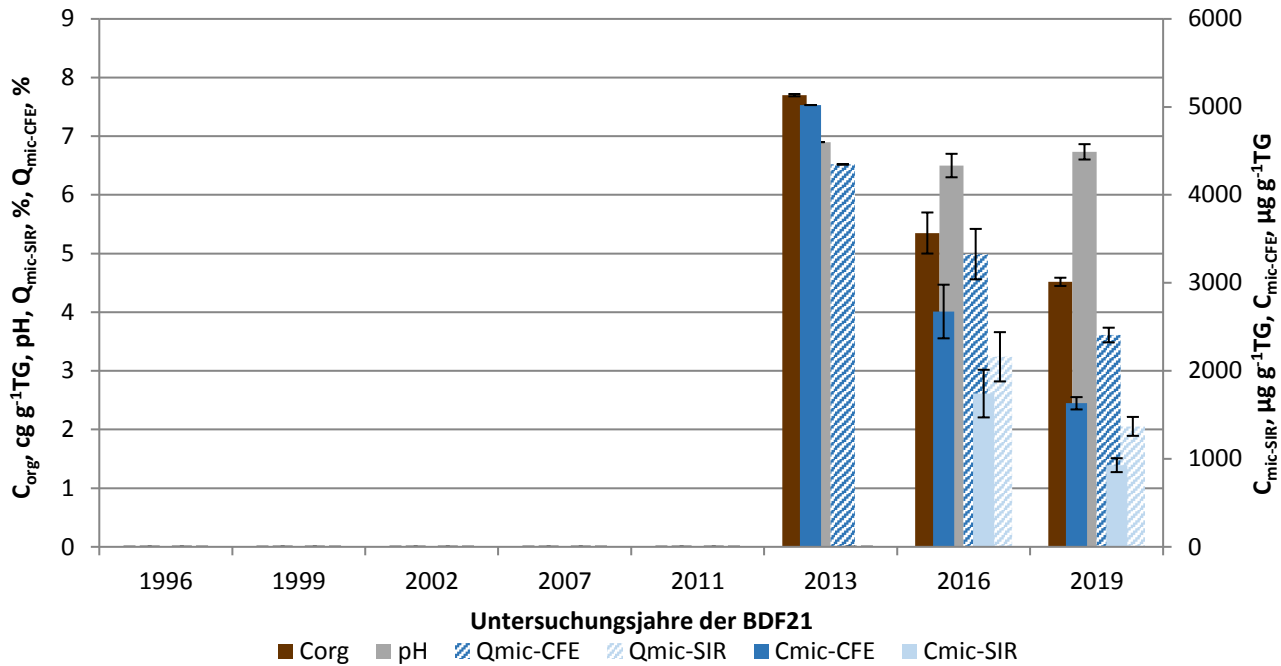


Abbildung 4.9: Ergebnisse der BDF21 (organische Auflage: 2013 Ofh, ab 2016 Ofh&Ah) der gesamten Untersuchungsjahre des organischen Kohlenstoffgehaltes (C_{org}), des pH-Wertes, der gesamten ($C_{mic-CFE}$) und der glucoseaktivierten ($C_{mic-SIR}$) mikrobiellen Biomasse und des Anteils dieser Biomasse am organischen Kohlenstoffgehalt ($Q_{mic-CFE}$ und $Q_{mic-SIR}$). Fehlerbalken stellen die Standardabweichung aus vier Einzelergebnissen dar.

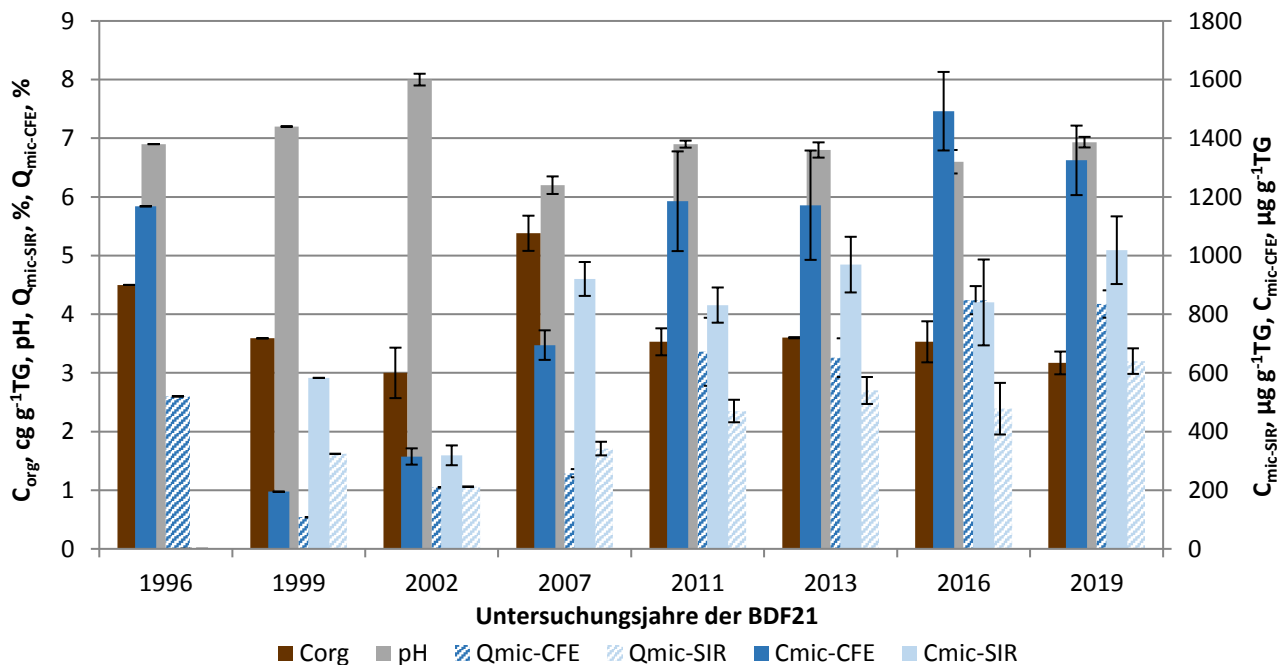


Abbildung 4.10: Ergebnisse der BDF21 (Mineraloberboden) der gesamten Untersuchungsjahre des organischen Kohlenstoffgehaltes (C_{org}), des pH-Wertes, der gesamten ($C_{mic-CFE}$) und der glucoseaktivierten ($C_{mic-SIR}$) mikrobiellen Biomasse und des Anteils dieser Biomasse am organischen Kohlenstoffgehalt ($Q_{mic-CFE}$ und $Q_{mic-SIR}$). Fehlerbalken stellen die Standardabweichung aus vier Einzelergebnissen dar.

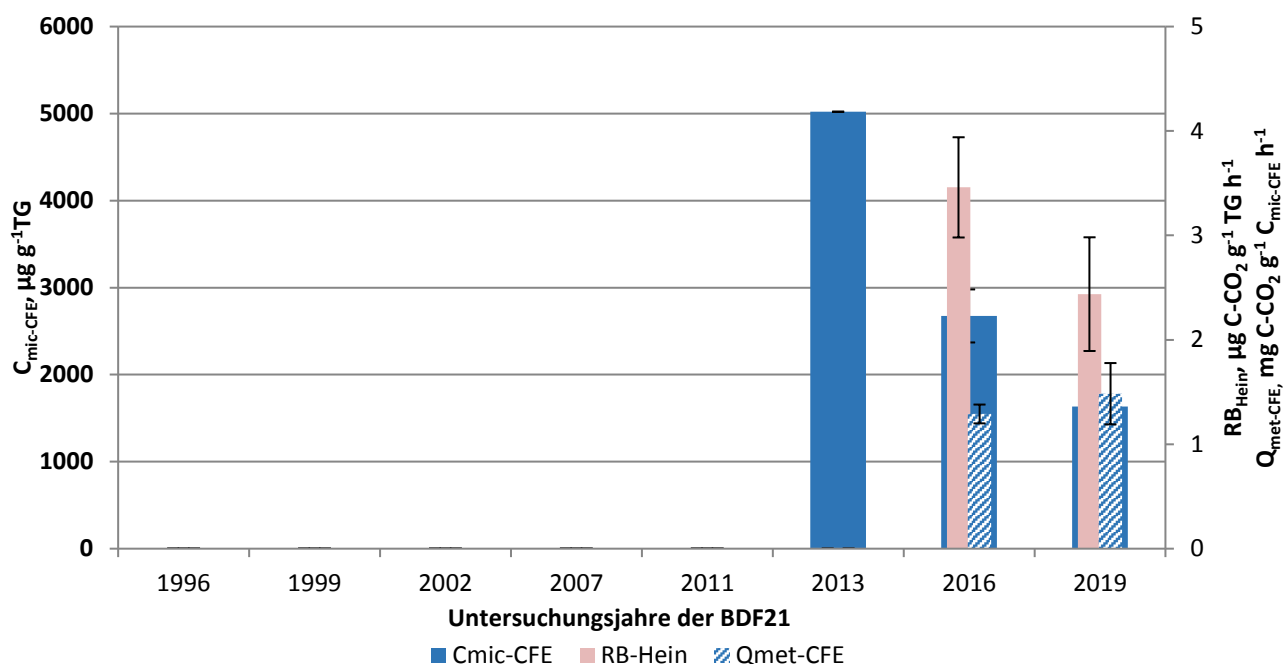


Abbildung 4.11: Ergebnisse der mikrobiellen Aktivität der BDF21 (organische Auflage: 2013 Ofh, ab 2016 Ofh&Ah) der gesamten Untersuchungsjahre, dargestellt anhand der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$), ihrer Basalatmung (R_{B-Hein}) und der mikrobiellen Aktivität ($Q_{met-CFE}$) bezogen auf das Trockengewicht.

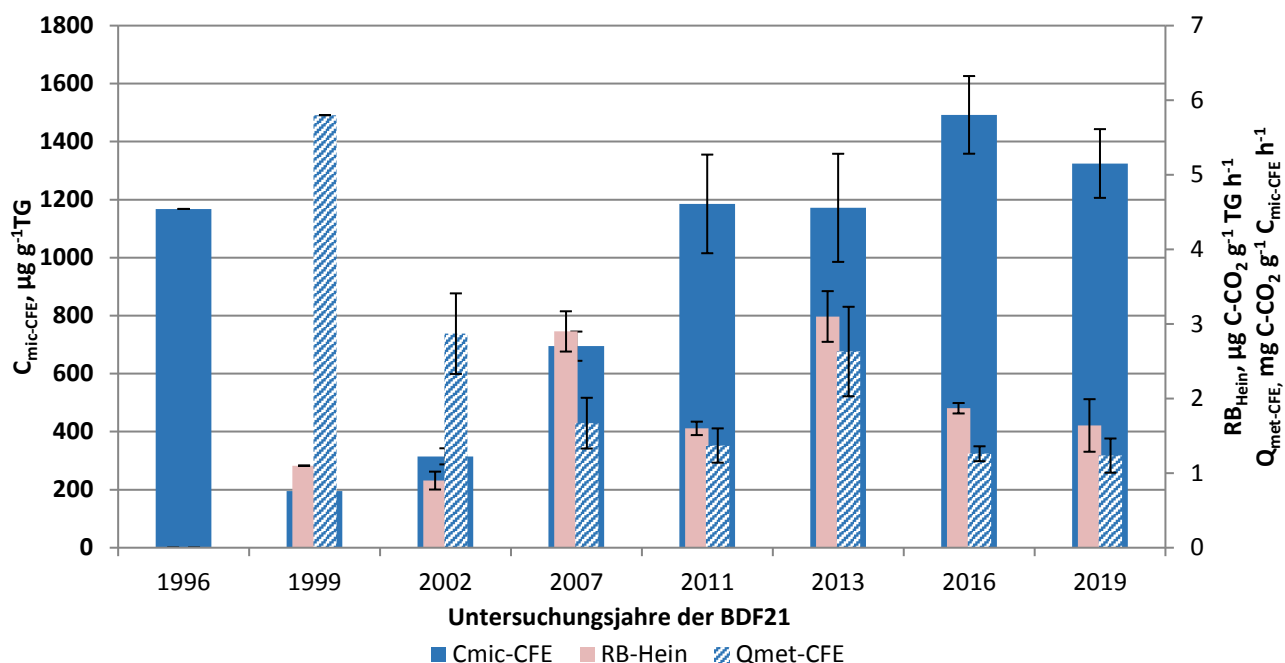


Abbildung 4.12: Ergebnisse der mikrobiellen Aktivität der BDF21 (Mineraloberboden) der gesamten Untersuchungsjahre, dargestellt anhand der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$), ihrer Basalatmung (R_{B-Hein}) und der mikrobiellen Aktivität ($Q_{met-CFE}$) bezogen auf das Trockengewicht.

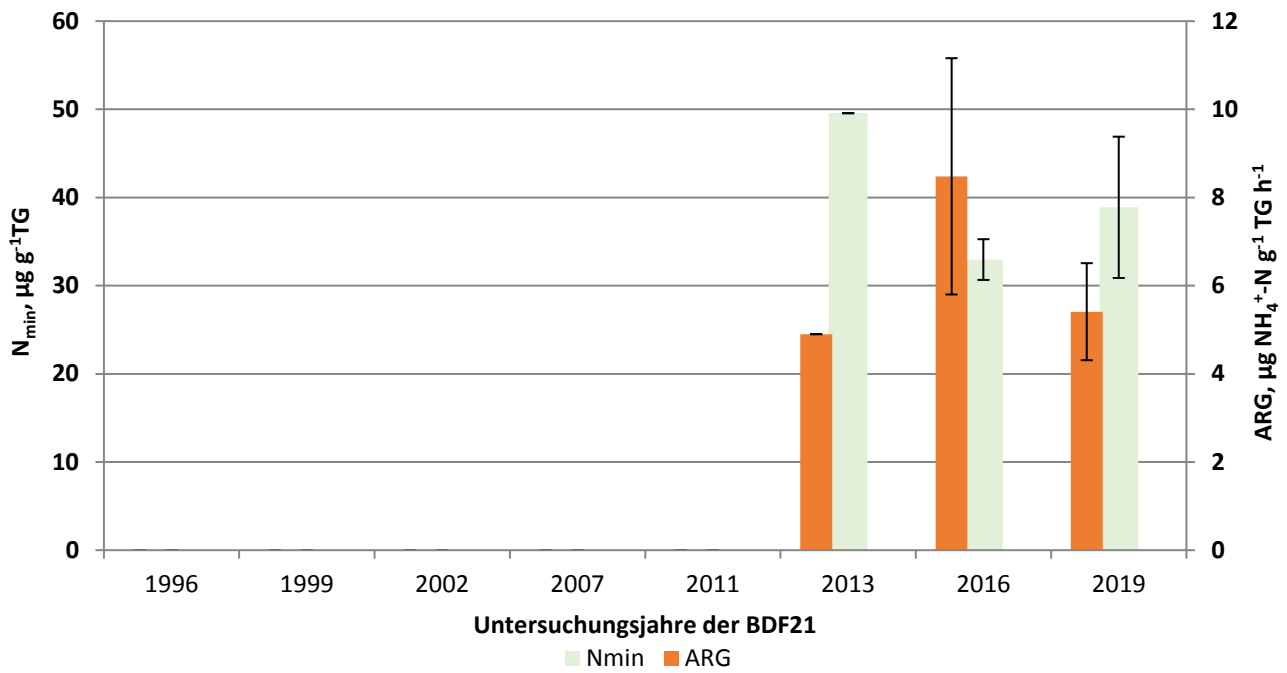


Abbildung 4.13: Darstellung des löslichen Stickstoffs (N_{min}) und der Argininammonifikation (ARG) der gesamten Untersuchungsjahre der BDF21 (organische Auflage: 2013 Ofh, ab 2016 Ofh&Ah).

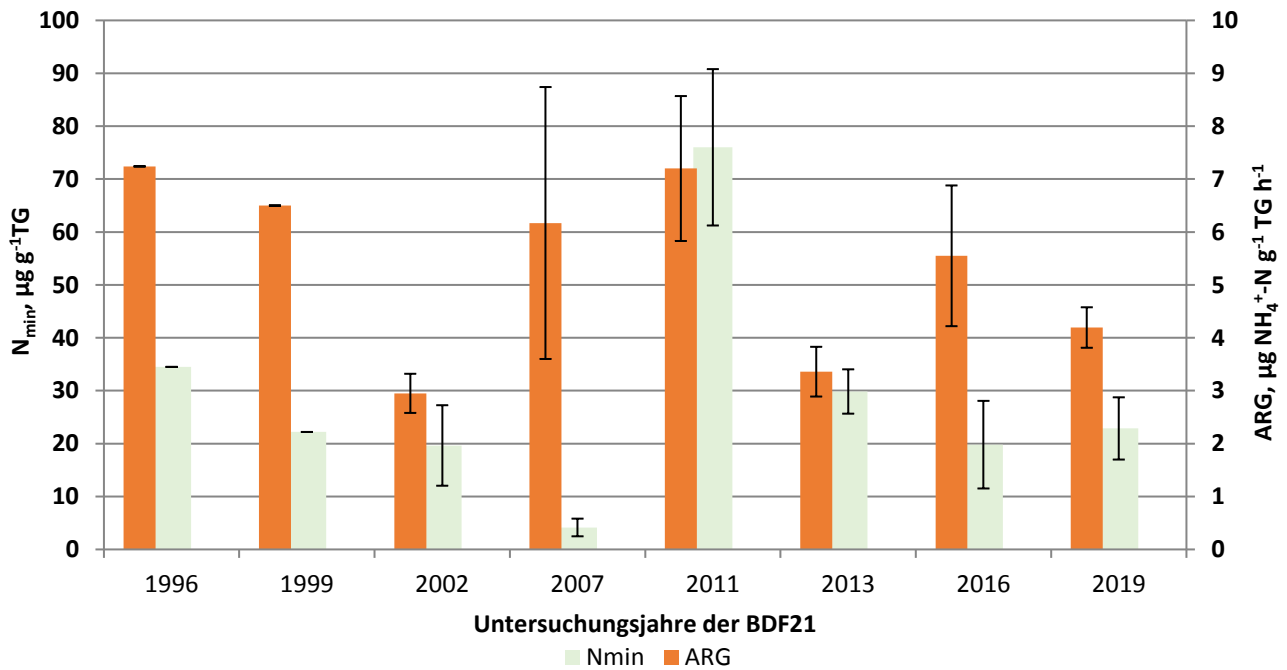


Abbildung 4.14: Darstellung des löslichen Stickstoffs (N_{min}) und der Argininammonifikation (ARG) der gesamten Untersuchungsjahre der BDF21 (Mineraloberboden).

Tabelle 4.10: Vergleich von mikrobiologischen und abiotischen Analyseergebnissen aus den acht Beprobungsjahren der BDF21. Angegeben ist jeweils der Mittelwert aus mindestens drei Parallelen und, wenn berechnet, die Standardabweichung dieses Wertes. Eine genauere Beschreibung der Tabelle ist im Anhang A 7.

Jahr	Boden- horizont Tiefe, cm	$C_{mic-CFE}$	$C_{mic-SIR}$ Hein	$N_{mic-CFE}$	R_{B-Hein}	ARG	$Q_{met-CFE}$ $R_{B-Hein} /$ $C_{mic-CFE}$	$Q_{met-SIR}$ $R_{B-Hein} /$ $C_{mic-SIR}$	N_{min}	C_{org}	N_t	C_{org} / N_t
		$\mu g\ g^{-1} TG$	$\mu g\ g^{-1} TG$	$\mu g\ g^{-1} TG$	$\mu g\ CO_2-C$ $g^{-1} TG\ h^{-1}$	$\mu g\ NH_4^{+}-$ $N\ g^{-1} TG$ h^{-1}	$\mu g\ CO_2-C$ $mg^{-1} C_{mic-}$ $CFE\ h^{-1}$	$\mu g\ CO_2-C$ $mg^{-1} C_{mic-}$ $SIR\ h^{-1}$	$\mu g\ g^{-1} TG$	$cg\ g^{-1} TG$	$cg\ g^{-1} TG$	
1996	A bis -10	1168	n.b.	194	n.b.	7,2	n.b.	n.b.	34,5	4,5	0,4	12,6
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
1999	A bis -10	195	583	47	1,1	6,5	5,8	1,9	22,2	3,6	0,3	10,5
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
2002	A bis -10	315	319	68	0,9	3,0	2,9	2,8	19,7	3,0	0,3	9,9
		± 28	± 34	± 6	$\pm 0,1$	$\pm 0,4$	$\pm 0,5$	$\pm 0,4$	$\pm 7,6$	$\pm 0,4$	$\pm 0,0$	$\pm 0,3$
2007	A bis -10	695	920	n.b.	2,9	6,2	1,7	1,3	4,2	5,4	0,2	27,7
		± 50	± 58	n.b.	$\pm 0,3$	$\pm 2,6$	$\pm 0,3$	$\pm 0,2$	$\pm 1,7$	$\pm 0,3$	$\pm 0,0$	$\pm 1,8$
2011	A bis -10	1185	831	n.b.	1,6	7,2	1,4	1,9	76,0	3,5	0,3	10,7
		± 170	± 60	n.b.	$\pm 0,1$	$\pm 1,4$	$\pm 0,2$	$\pm 0,2$	$\pm 14,8$	$\pm 0,2$	$\pm 0,0$	$\pm 0,2$
2013	O bis +0,5	5021	n.b.	793	n.b.	4,9	n.b.	n.b.	49,6	7,7	0,7	12,0
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	$\pm 0,0$	$\pm 0,0$	$\pm 0,0$	$\pm 0,0$
2013	A bis -10	1172	969	139	3,1	3,4	2,6	3,2	29,9	3,6	0,4	10,5
		± 186	± 95	± 11	$\pm 0,3$	$\pm 0,5$	$\pm 0,6$	$\pm 0,2$	$\pm 4,2$	$\pm 0,0$	$\pm 0,0$	$\pm 0,1$
2016	Ofh&Ah bis -2,5	2674	1742	255	3,5	8,5	1,3	2,0	33,0	5,4	0,5	10,9
		± 305	± 271	± 24	$\pm 0,5$	$\pm 2,7$	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$	$\pm 2,3$	$\pm 0,4$	$\pm 0,0$	$\pm 0,3$
2016	Ah bis - 10	1492	840	137	1,9	5,6	1,3	2,3	19,8	3,5	0,4	10,2
		± 134	± 146	± 10	$\pm 0,1$	$\pm 1,3$	$\pm 0,1$	$\pm 0,5$	$\pm 8,3$	$\pm 0,4$	$\pm 0,0$	$\pm 0,4$
2019	Ofh&Ah bis -2,5	1632	928	162	2,4	5,4	1,5	2,7	38,9	4,5	0,4	10,9
		± 70	± 79	± 11	$\pm 0,5$	$\pm 1,1$	$\pm 0,3$	$\pm 0,6$	$\pm 8,0$	$\pm 0,1$	$\pm 0,0$	$\pm 0,1$
2019	Ah bis - 10	1325	1018	131	1,6	4,2	1,2	1,6	22,9	3,2	0,3	9,9
		± 118	± 115	± 12	$\pm 0,4$	$\pm 0,4$	$\pm 0,2$	$\pm 0,2$	$\pm 5,9$	$\pm 0,2$	$\pm 0,0$	$\pm 0,2$

Fortsetzung: Tabelle 4.10

Jahr	Boden- horizont	$C_{mic-CFE} /$ Fläche	$C_{mic-SIR} /$ Fläche	$N_{mic-CFE} /$ Fläche	$R_{B-Hein} /$ Fläche	ARG / Fläche	$Q_{mic-CFE} /$ $C_{mic-CFE} /$ C_{org}	$Q_{mic-SIR} /$ $C_{mic-SIR} /$ C_{org}	$N_{min} /$ Fläche	$C_{org} /$ Fläche	$N_t /$ Fläche	pH
		$g\ m^{-2}$	$g\ m^{-2}$	$g\ m^{-2}$	$mg\ CO_2-C$ $m^{-2}\ h^{-1}$	$mg\ NH_4^+-$ $N\ m^{-2}\ h^{-1}$	%	%	$kg\ ha^{-1}$	$g\ m^{-2}$	$g\ m^{-2}$	
1996	A bis -10	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	2,6	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	6,9
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
1999	A bis -10	18,5	55,4	4,4	107,4	617,5	0,5	1,6	21,1	3410	323	7,2
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
2002	A bis -10	30,2	30,6	6,5	85,9	283,2	1,1	1,1	18,9	2880	291	8,0
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	± 0,1
2007	A bis -10	61,1	81,0	n.b.	255,8	543,0	1,3	1,7	3,7	4730	172	6,2
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	± 0,1	± 0,1	n.b.	n.b.	n.b.	± 0,2
2011	A bis -10	113,9	79,9	n.b.	153,7	691,5	3,4	2,4	73,0	3395	319	6,9
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	± 0,6	± 0,2	n.b.	n.b.	n.b.	± 0,1
2013	O bis +0,5	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	6,5	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	6,9
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	± 0,0	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	± 0,0
2013	A bis -10	111,3	92,1	13,2	292,8	319,1	3,3	2,7	28,4	3415	351	6,8
		± 20,5	± 9,0	± 1,2	± 37,7	± 45,0	± 0,3	± 0,2	± 4,6	± 329	± 32	± 0,1
2016	Ofh&Ah bis -2,5	63,5	41,3	6,1	82,0	201,2	5,0	3,2	7,8	1258	117	6,5
		± 7,2	± 6,4	± 0,6	± 11,4	± 63,6	± 0,4	± 0,4	± 0,6	± 83	± 5	± 0,2
2016	Ah bis -10	106,3	59,8	9,8	132,8	395,5	4,2	2,4	14,1	2437	246	6,6
		± 9,5	± 10,4	± 0,7	± 5,0	± 94,7	± 0,2	± 0,4	± 5,9	± 252	± 21	± 0,2
2019	Ofh&Ah bis -2,5	40,0	22,7	4,0	59,7	132,5	3,6	2,1	9,5	1107	101	6,7
		± 1,7	± 1,9	± 0,3	± 13,3	± 27,0	± 0,1	± 0,2	± 2,0	± 17	± 1	± 0,1
2019	Ah bis -10	97,4	74,8	9,6	120,5	308,3	4,2	3,2	16,8	2330	235	6,9
		± 8,7	± 8,5	± 0,9	± 25,9	± 28,1	± 0,2	± 0,2	± 4,3	± 143	± 12	± 0,1

4.2.4 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zu abiotischen Standortfaktoren

Eine signifikante Korrelation besteht zwischen dem Gehalt der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{\text{mic-SIR}}$) und dem Boden-pH ($r = -0,906$, $p < 0,05$, $N = 6$). Höhere pH-Werte gingen somit mit geringeren $C_{\text{mic-SIR}}$ -Gehalten einher. Eine Beziehung der mikrobiellen Biomasse ($C_{\text{mic-SIR}}$) zum Gehalt des organischen Kohlenstoffs ist insofern erkennbar, dass Zu- und Abnahmen beider Parameter in den gleichen Untersuchungsjahren erfolgt sind. Statistisch betrachtet ist dieser Zusammenhang jedoch nicht signifikant.

Der Gehalt des mikrobiellen Stickstoffs ($N_{\text{mic-CFE}}$) korreliert signifikant mit der bodenkundlichen Feuchtestufe ($r = -0,980$, $p < 0,05$, $N = 4$), so dass feuchtere Bodenverhältnisse mit geringeren $N_{\text{mic-CFE}}$ -Gehalten verbunden waren.

Für die organische Auflage können aufgrund des geringen Datenumfangs keine Korrelationen angegeben werden. Es zeigt sich jedoch, dass mit der deutlichen Abnahme des C_{org} -Gehaltes auch eine Abnahme der mikrobiellen Biomasse ($C_{\text{mic-CFE}}$) zum Untersuchungsjahr 2019 erfolgte. Die Argininammonifikation nahm mit erhöhtem N_{min} -Gehalt zu.

4.2.5 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zum Klima und zur Witterung

Beziehungen zwischen dem Klima und der Bodenmikrobiologie wurden in drei Fällen statistisch nachgewiesen. Es besteht eine signifikante Korrelation zwischen den Durchschnittstemperaturen der jeweils vorherigen Vegetationsperioden und dem mikrobiellen Quotienten ($Q_{\text{mic-CFE}}$, $r = -0,968$, $p < 0,05$, $N = 4$). Daraus folgte eine Erhöhung des Anteils der mikrobiellen Biomasse am organischen Kohlenstoff bei geringeren Vorjahrestemperaturen. Auch die Niederschläge der jeweils vergangenen Hauptvegetationsperioden korrelieren signifikant mit dem mikrobiellen Stickstoff ($N_{\text{mic-CFE}}$, $r = -0,886$, $p < 0,05$, $N = 5$) und mit dem metabolischen Quotienten ($Q_{\text{met-CFE}}$, $r = 0,953$, $p < 0,01$, $N = 6$). Höhere Vorjahresniederschläge hatten somit eine Verringerung des $N_{\text{mic-CFE}}$ -Gehaltes sowie eine Verringerung der Effizienz der Bodenmikroorganismen zur Folge.

4.2.6 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Bewirtschaftung

Die Form der Bewirtschaftung blieb unverändert. Fehlende Düngung sowie fehlende Bodenbearbeitung der Sukzessionsfläche führen dem Oberboden keinen zusätzlichen Stickstoff, Sauerstoff und organischen Kohlenstoff zu. Die Mikroorganismen werden dadurch nicht zusätzlich im Wachstum gefördert. Dennoch war über nahezu den gesamten Zeitraum eine Zunahme der mikrobiellen Biomasse zu beobachten.

4.2.7 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Vegetationskunde

Die vegetationskundliche Untersuchung wurde zuletzt im Jahr 2015 durchgeführt. Dabei wurden vier Vegetationstypen ausgewiesen. Anhand der Stickstoffzahl wird der Standort als mäßig stickstoffreich bis stickstoffreich klassifiziert (Brandt, 2016). Dieses begünstigt das Wachstum der mikrobiellen Biomasse und trägt vermutlich auch zu deren stetigem Anstieg bei. Gegenüber der Voruntersuchung 2009 änderten sich die Zeigerverhältnisse zur aktuellen Untersuchung nur sehr geringfügig, was nicht mit der deutlichen Zunahme der mikrobiellen Aktivität einhergeht. Dies kann mit der hohen Flächenheterogenität zusammenhängen.

4.2.8 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Bodenzoologie

Die letzte bodenzoologische Untersuchung wurde im Jahr 2015 durchgeführt. Insbesondere bei der Biomasse der Regenwürmer und bei der Siedlungsdichte der Kleinringelwürmer war eine Abnahme zwischen den Untersuchungsjahren 2006 und 2015 zu beobachten. In diesem Zeitraum fand ein deutlicher Zuwachs der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$) statt, während die Gehalte der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$) schwankten.

4.3 BDF25 Kudensee/Landscheide

4.3.1 Situation bei der Probenentnahme

Tabelle 4.11: Temperatur und Niederschlag zum Jahreswechsel 2018/2019 an der BDF25. Monatsdurchschnittstemperatur in °C, Monatsniederschlagssumme in mm.

Jahr	Monat	Monatsdurchschnitts-temperatur, °C	Niederschlag, mm/Monat
2018	Oktober	11,5	47
	November	6	26
	Dezember	5,5	84
2019	Januar	2,3	59
	Februar	5	44
	März	6,8	109
Dez. 18 - Feb. 19		4,3	187

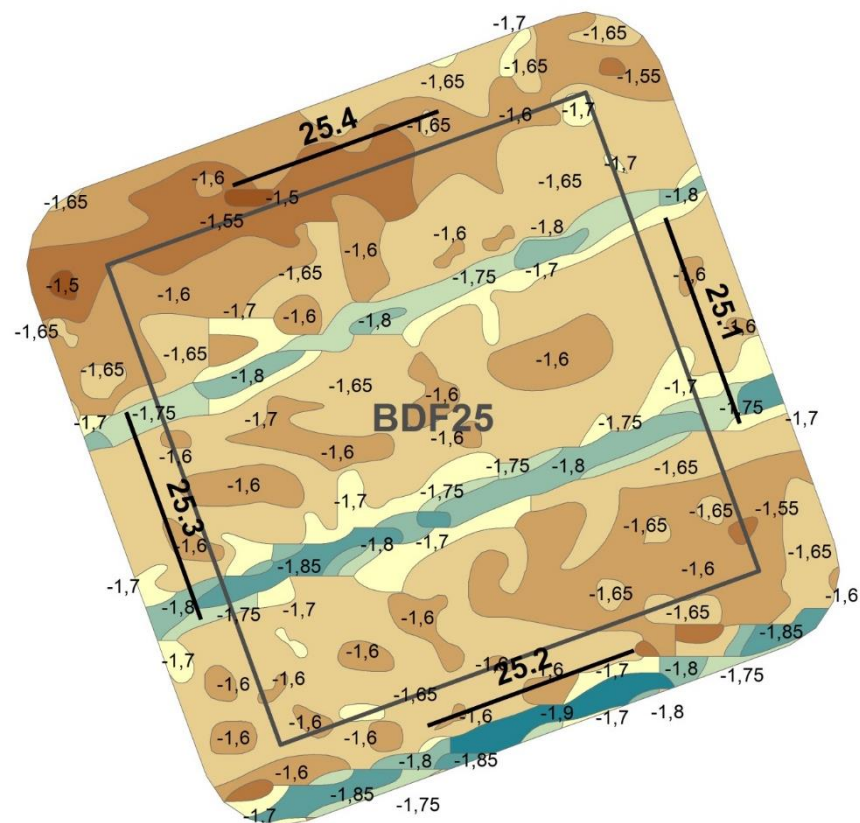


Abbildung 4.15: Lage der Probenentnahmestellen an der BDF25 (25.1-4).

Tabelle 4.12: Bedingungen während der Probenentnahme an der BDF25 (Probenentnahmeprotokoll). Für die Witterungsverhältnisse und die Bodenbeschaffenheit sind die Abkürzungen nach Ad-Hoc-ARBEITSGRUPPE BODEN, 2005, angegeben.

Bearbeiter	Herr Dr. Elsner
Datum	11.03.2019
Beginn	12:15 Uhr
Temperatur, GOF	5,9°C
Temperatur, 10cm	4,6°C
Frost	10 Tage
Niederschlag	mäß. Niederschläge seit 24 Std.
Bodenfeuchte	stark feucht-nass, weich-breig
Wasserüberstau	
Vegetation, Zusammensetzung	Charakter eines Wirtschaftsgrünlandes
Nutzungsspuren	Weidenutzung
Pflegemaßnahmen	nicht erkennbar
Tiereinflüsse	Viehvertritt, Kot
Düngespuren	nicht erkennbar
Vegetation, Einheitlichkeit	uneinheitlich
Höhe Vegetation	
Bodenbedeckung	geschlossen, kein freier Boden
Bemerkung	Grabenaushub, Wasser im Rohr: 0,48 m

4.3.2 Analyseergebnisse und Klassifikation

Die BDF25 Landscheide ist ein extensiv bewirtschaftetes Niedermoor mit der Bodenform Niedermoor aus Niedermoortorf. Der Boden wurde bis 10 cm Tiefe beprobt. Die abiotischen Parameter sind in der Tabelle 4.13 dargestellt. Aufgrund der organischen Beschaffenheit des Bodens besitzt die BDF25 den höchsten Anteil organischen Kohlenstoffs (C_{org}) von allen im Jahr 2019 untersuchten BDF. Gemäß Ad hoc AG-Boden (2005) erfolgt die Einstufung des C_{org} -Gehaltes für den Boden dieser BDF eine Einstufung als organisch. Ebenso weist die BDF25 den höchsten Gesamtstickstoffgehalt (N_t) auf, welcher ausreichend hoch ist, um eine hohe Humusqualität mit einem C/N-Verhältnis von ca. 14 bereitzustellen. Der Standort zeigt für organische Grünlandböden einen mittel hohen Gehalt des löslichen Stickstoffs (N_{min}), wobei der Ammoniumgehalt sehr niedrig und der Nitratgehalt hoch ist. Die Trockenrohdichte wird als sehr gering eingestuft. Der Boden wird aufgrund seines pH-Wertes von ca. 4,7 als mäßig sauer klassifiziert.

Die mikrobiologischen Parameter sind in der Tabelle 4.14 dargestellt. Die mikrobielle Biomasse ($C_{mic-CFE}$) wird für organische Grünlandböden als sehr hoch eingestuft. Die gleiche Einstufung gilt ebenso für die glucoseaktivierte mikrobielle Biomasse ($C_{mic-SIR}$). Der mikrobielle Stickstoff ($N_{mic-CFE}$) erreicht einen hohen Wert. Die Basalatmung (R_{B-Hein}) sowie die Argininammonifikation (ARG) werden als mit-

tel hoch klassifiziert. Der mikrobielle Quotient ($Q_{\text{mic-CFE}}$) wird als hoch eingestuft während der mikrobielle Quotient der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{\text{mic-SIR}}$) als mittel hoch eingestuft wird. Der metabolische Quotient ($Q_{\text{met-CFE}}$) wird als niedrig klassifiziert, der metabolische Quotient der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{\text{met-SIR}}$) entspricht ebenso der niedrigen Einstufung.

Tabelle 4.13: Ergebnisse der bodenchemischen Analyse 2019 der BDF25 (Landscheide). Aufgeführt sind der organische Kohlenstoffgehalt (C_{org}) und der Gesamtstickstoffgehalt (N_t) in $\text{cg g}^{-1}\text{TG}$, sowie das Verhältnis von organischem Kohlenstoff zu Stickstoff im Boden (C_{org} / N_t), der gelöste Stickstoffgehalt (N_{min}) berechnet aus der Summe von Ammonium ($\text{NH}_4^+\text{-N}$), Nitrit ($\text{NO}_2^-\text{-N}$) und Nitrat ($\text{NO}_3^-\text{-N}$), die Trockenrohddichte in g TG cm^{-3} , der Wassergehalt in $\text{mg g}^{-1}\text{ TG}$ und der pH gemessen in CaCl_2 . Die Werte stellen jeweils den Mittelwert aus acht Parallelen dar und sind mit der Standardabweichung angegeben. Farbkodierungen zur Bewertung siehe Anhang Tabelle A 2, A 3, A 4 und A 5.

Boden-horizont	C_{org}	N_t	C_{org} / N_t	N_{min}	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	$\text{NO}_2^-\text{-N}$	$\text{NO}_3^-\text{-N}$
Tiefe, cm	$\text{cg g}^{-1}\text{ TG}$	$\text{cg g}^{-1}\text{ TG}$		$\mu\text{g g}^{-1}\text{ TG}$	$\mu\text{g g}^{-1}\text{ TG}$	$\mu\text{g g}^{-1}\text{ TG}$	$\mu\text{g g}^{-1}\text{ TG}$
nHv bis -10	20,5	1,5	13,6	32,1	21,6	0,3	10,2
	$\pm 2,7$	$\pm 0,2$	$\pm 0,4$	$\pm 5,4$	$\pm 4,5$	$\pm 0,4$	$\pm 3,6$

Boden-horizont	$C_{\text{org}} / \text{Fläche}$	$N_t / \text{Fläche}$	$N_{\text{min}} / \text{Fläche}$	$N_{\text{min}} / \text{Fläche}$	Trockenroh-dichte	Wasser-gehalt	pH
Tiefe, cm	g m^{-2} Horizonttiefe	g m^{-2} Horizonttiefe	g m^{-2} Horizonttiefe	kg N ha^{-1} Horizonttiefe	g TG cm^{-3}	$\text{mg g}^{-1}\text{ TG}$	
nHv bis -10	9801	721	1,5	15,4	0,5	1230	4,7
	± 1287	± 79	$\pm 0,3$	$\pm 2,6$	$\pm \text{n.b.}$	± 143	$\pm 0,2$

Tabelle 4.14: Ergebnisse der bodenmikrobiologischen Analyse 2019 der BDF25 (Landscheide). Aufgeführt ist der mikrobielle Kohlenstoffgehalt, gemessen mit der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($C_{mic-CFE}$) und über die Substratinduzierte Atmung (SIR) mit der Heinemeyeraanalyse ($C_{mic-SIR}$), außerdem der mikrobielle Stickstoffgehalt, gemessen mit der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($N_{mic-CFE}$). Angegeben sind weiterhin die mikrobielle Basalatmung, gemessen als CO_2 -Produktionsrate mithilfe der Heinemeyeraanlage (R_{B-Hein}) und die potentielle Ammonifikation nach der Arginin-Ammonifikationsmethode (ARG). Des weiteren sind der metabolische Quotient und der mikrobielle Quotient jeweils aus den Ergebnissen der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($C_{mic-CFE}$) und der Heinemeyeraanlage ($C_{mic-SIR}$) berechnet. Die Werte stellen jeweils den Mittelwert aus acht Parallelen dar und sind mit der Standardabweichung angegeben. Farbkodierungen siehe Anhang A 6. Im unteren Teil der Tabelle sind die verschiedenen Parameter bezogen auf die Fläche angegeben.

Boden-horizont	$C_{mic-CFE}$	$C_{mic-SIR}$	$N_{mic-CFE}$	R_{B-Hein}	ARG	$Q_{mic-CFE}$ $C_{mic-CFE} / C_{org}$	$Q_{mic-SIR}$ $C_{mic-SIR} / C_{org}$
Tiefe, cm	$\mu g\ g^{-1} TG$	$\mu g\ g^{-1} TG$	$\mu g\ g^{-1} TG$	$\mu g\ CO_2-C$ $g^{-1} TG\ h^{-1}$	$\mu g\ NH_4^+-N$ $g^{-1} TG\ h^{-1}$	%	%
nHv bis - 10	6322	2135	418	3,5	9,4	3,1	1,1
	± 302	± 252	± 24	$\pm 0,4$	$\pm 1,3$	$\pm 0,3$	$\pm 0,2$

Boden-horizont	$C_{mic-CFE} /$ Fläche	$C_{mic-SIR} /$ Fläche	$N_{mic-CFE} /$ Fläche	$R_{B-Hein} /$ Fläche	ARG / Fläche	$Q_{met-CFE}$ $R_{B-Hein} / C_{mic-CFE}$	$Q_{met-SIR}$ $R_{B-Hein} / C_{mic-SIR}$
Tiefe, cm	$g\ m^{-2}$ Horizonttiefe	$g\ m^{-2}$ Horizonttiefe	$g\ m^{-2}$ Horizonttiefe	$mg\ CO_2-C$ $m^{-2}\ h^{-1}$ Horizonttiefe	$mg\ NH_4^+-N$ $m^{-2}\ h^{-1}$ Horizonttiefe	$\mu g\ CO_2-C$ $mg^{-1} C_{mic-CFE}\ h^{-1}$	$\mu g\ CO_2-C$ $mg^{-1} C_{mic-SIR}\ h^{-1}$
nHv bis - 10	303	102	20,0	165	449	0,5	1,6
	± 14	± 12	$\pm 1,2$	± 19	± 63	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$

4.3.3 Zeitreihenvergleich

Der Gehalt des organischen Kohlenstoffs (C_{org}) im Oberboden der BDF25 zeigte deutliche Schwankungen im Untersuchungszeitraum 1996 bis 2019 (Abbildung 4.16). Zwischen den Jahren 1996 und 2002 erfolgte zunächst eine leichte Abnahme des C_{org} -Gehalts, zum Jahr 2006 ereignete sich ein Anstieg um mehr als ein Viertel. Zwischen 2006 und 2011 sank der C_{org} -Gehalt um etwa ein Zehntel und zeigte bis 2013 eine nur sehr geringe Abnahme. Zum Untersuchungsjahr 2016 nahm der C_{org} -Gehalt geringfügig zu und zum Jahr 2019 geringfügig ab. Auch der Boden-pH blieb im Untersuchungszeitraum nicht konstant. Insbesondere zwischen den Untersuchungsjahren 2002 und 2006 sank der Wert um mehr als 0,5 Einheiten. Zum Folgejahr stieg dieser erneut an, und blieb bis 2013 auf diesem Niveau. Der pH nahm zum Jahr 2016 erneut leicht ab und verblieb auf diesem Niveau bis zum Jahr 2019.

Die mikrobielle Biomasse ($C_{mic-CFE}$) fiel von einem Peak im Jahr 1996 auf ein Viertel des Peak-Wertes herab, stieg jedoch zwischen 1999 und 2011 auf einen vorläufigen Höchstwert an. Zum Jahr 2013 sank die mikrobielle Biomasse um fast ein Drittel und stieg zum Jahr 2019 auf den insgesamt höchsten Wert erneut an. Die zeitliche Entwicklung der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$) war durch sich abwechselnde Ab- und Zunahmen gekennzeichnet. Der bisherige Höchstwert dieses Parameters zeigte sich im Jahr 2013, in dem die $C_{mic-SIR}$ annähernd das Niveau von der $C_{mic-CFE}$ erreichte. Anschließend nahm der $C_{mic-SIR}$ -Gehalt zum Jahr 2016 um nahezu die Hälfte ab. Es folgte ein leichter Anstieg zum Jahr 2019. Auch die mikrobiellen Quotienten ($Q_{mic-SIR}$ und $Q_{mic-CFE}$) schwankten im Untersuchungszeitraum auf und ab, erreichten im Jahr 2013 jedoch in etwa das gleiche Niveau. Einzig der $Q_{mic-SIR}$ zeigte zum Jahr 2016 eine Abnahme. Beide mikrobiellen Quotienten stiegen zum Jahr 2019 an.

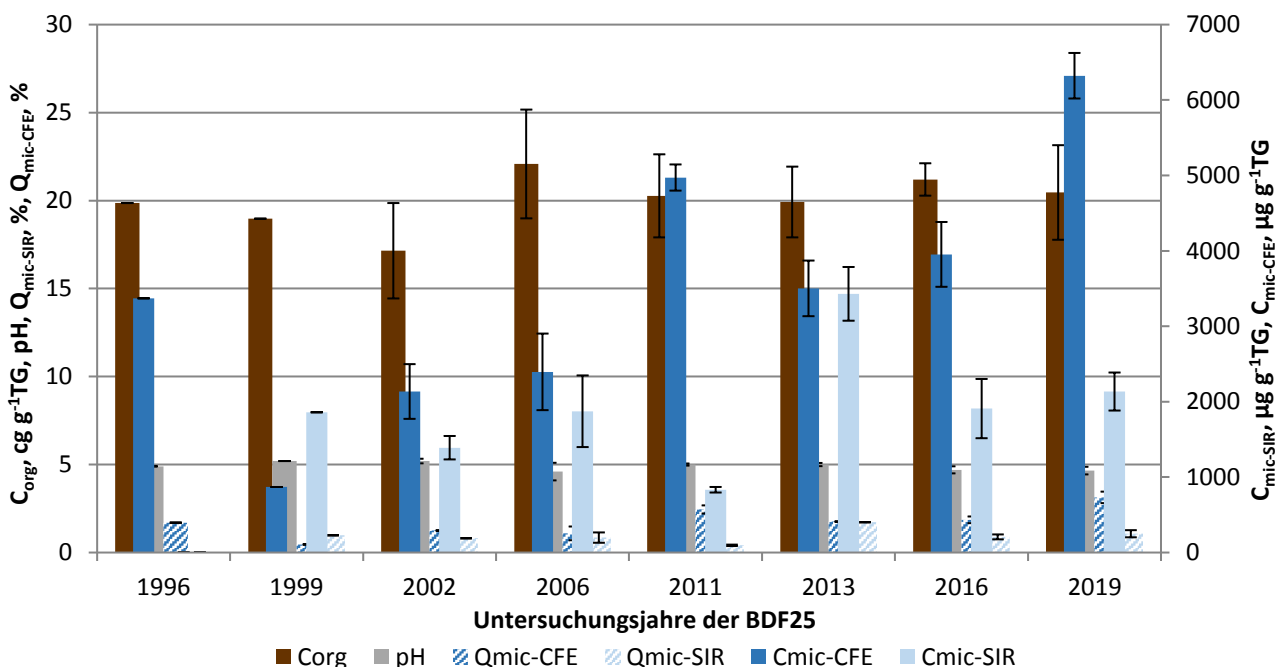


Abbildung 4.16: Ergebnisse der BDF25 der gesamten Untersuchungsjahre des organischen Kohlenstoffgehaltes (C_{org}), des pH-Wertes, der gesamten ($C_{mic-CFE}$) und der glucoseaktivierten ($C_{mic-SIR}$) mikrobiellen Biomasse und des Anteils dieser Biomasse am organischen Kohlenstoffgehalt ($Q_{mic-CFE}$ und $Q_{mic-SIR}$). Fehlerbalken stellen die Standardabweichung aus vier Einzelergebnissen dar.

Die Basalatmung (R_{B-Hein}) im Oberboden der BDF25 nahm zwischen den Jahren 1999 und 2006 beständig zu (Abbildung 4.17). Zum Jahr 2011 erfolgte eine Abnahme der Basalatmung auf den bisher niedrigsten Stand, welche zum Jahr 2013 von einer Vervierfachung auf den bisherigen Höchststand gefolgt wurde. Zum Jahr 2016 erfuhr die Basalatmung eine Abnahme um etwa 20 % und verringerte sich weiter zum Jahr 2019. Der metabolische Quotient ($Q_{met-CFE}$) nahm zwischen den Jahren 1999 und 2011 nahezu beständig ab, stieg aber zum Jahr 2013 auf den bisherigen Höchstwert an. Zum Jahr 2016 und 2019 erfolgte erneut eine Abnahme des metabolischen Quotienten.

Der zeitliche Verlauf der Argininammonifikation (ARG) und des Gehalts des löslichen Stickstoffs (N_{min}) ist in der Abbildung 4.18 dargestellt. Zu erkennen ist, dass die Argininammonifikation sowohl zwischen den Jahren 1996 und 1999 als auch zwischen 2002 und 2006 jeweils eine deutliche Zunahme zeigte, während sie zwischen 1999 und 2002 sehr stark zurückging. Seit dem Untersuchungsjahr 2006 nahm die ARG bis zum Untersuchungsjahr 2013 kontinuierlich ab und zeigte erst zum Jahr 2016 einen erneuten Anstieg. Der Gehalt löslichen Stickstoffs nahm zwischen 1996 und 2002 deutlich und beständig zu, während zum Jahr 2006 eine Abnahme auf ein Drittel des Höchststands von 2002 erfolgte. Zum Jahr 2011 stieg der N_{min} -Gehalt erneut und reduzierte sich zum Jahr 2016 um insgesamt etwa die Hälfte. Zum Untersuchungsjahr 2019 zeigten sowohl die Argininammonifikation als auch der N_{min} -Gehalt nahezu keine Veränderung.

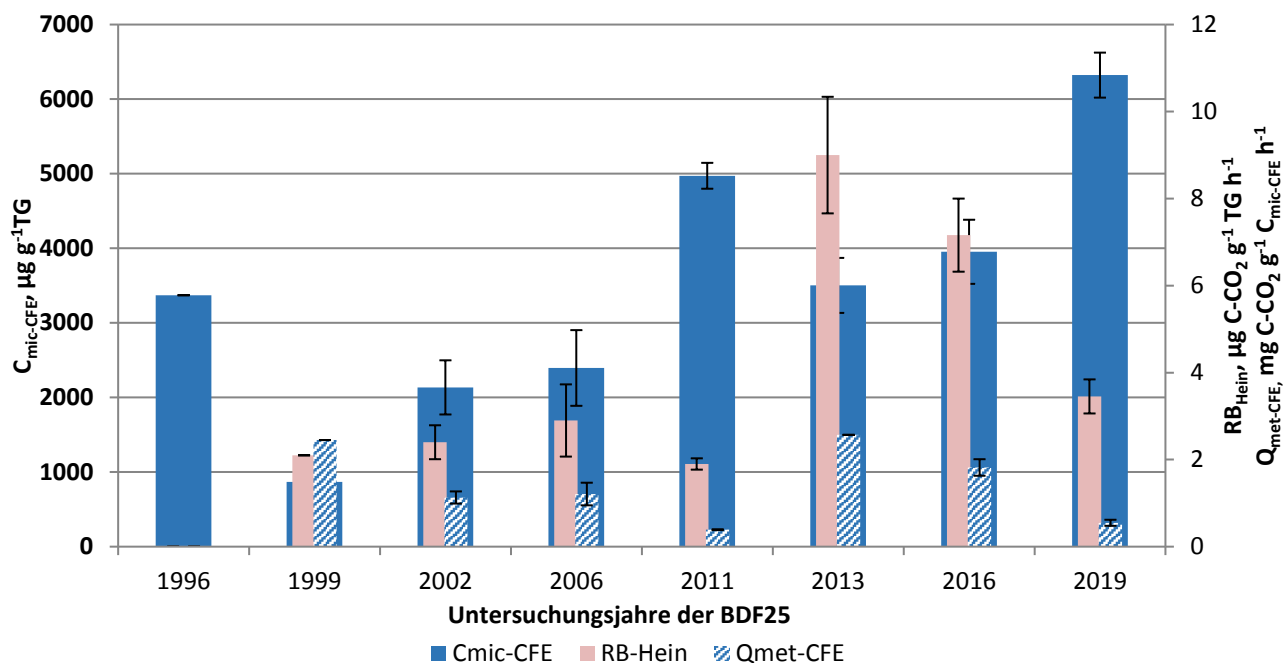


Abbildung 4.17: Ergebnisse der mikrobiellen Aktivität der BDF25 der gesamten Untersuchungsjahre, dargestellt anhand der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$), ihrer Basalatmung (RB_{Hein}) und der mikrobiellen Aktivität ($Q_{met-CFE}$) bezogen auf das Trockengewicht.

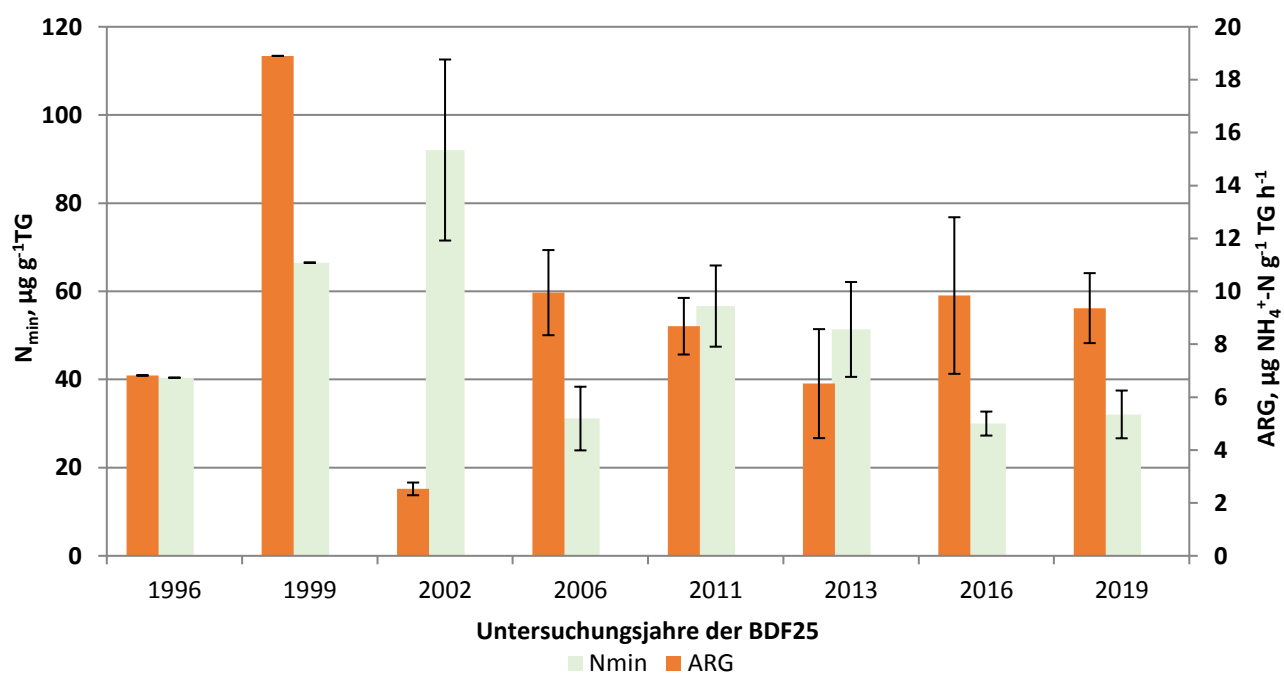


Abbildung 4.18: Darstellung des löslichen Stickstoffs (N_{min}) und der Argininammonifikation (ARG) der gesamten Untersuchungsjahre der BDF25.

Tabelle 4.15: Vergleich von mikrobiologischen und abiotischen Analyseergebnissen aus den acht Beprobungsjahren der BDF25. Angegeben ist jeweils der Mittelwert aus mindestens drei Parallelen und, wenn berechnet, die Standardabweichung dieses Wertes. Eine genauere Beschreibung der Tabelle ist im Anhang A 7.

Jahr	Boden- horizont Tiefe, cm	$C_{mic-CFE}$	$C_{mic-SIR}$ Hein	$N_{mic-CFE}$	R_{B-Hein}	ARG	$Q_{met-CFE}$ $R_{B-Hein} /$ $C_{mic-CFE}$	$Q_{met-SIR}$ $R_{B-Hein} /$ $C_{mic-SIR}$	N_{min}	C_{org}	N_t	C_{org} / N_t
		$\mu g\ g^{-1} TG$	$\mu g\ g^{-1} TG$	$\mu g\ g^{-1} TG$	$\mu g\ CO_2-C$ $g^{-1} TG\ h^{-1}$	$\mu g\ NH_4^{+}-$ $N\ g^{-1} TG$ h^{-1}	$\mu g\ CO_2-C$ $mg^{-1} C_{mic-}$ $CFE\ h^{-1}$	$\mu g\ CO_2-C$ $mg^{-1} C_{mic-}$ $SIR\ h^{-1}$	$\mu g\ g^{-1} TG$	$cg\ g^{-1} TG$	$cg\ g^{-1} TG$	
1996	nHv	3371	n.b.	408	n.b.	6,8	n.b.	n.b.	40,4	19,9	1,6	12,7
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
1999	nHv bis -10	869	1860	171	2,1	18,9	2,5	1,2	66,5	19,0	1,7	11,5
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
2002	nHv bis -30	2135	1390	244	2,4	2,5	1,1	1,7	92,1	17,2	1,3	13,3
		± 363	± 155	± 40	$\pm 0,4$	$\pm 0,2$	$\pm 0,1$	$\pm 0,1$	$\pm 20,5$	$\pm 2,7$	$\pm 0,1$	$\pm 2,2$
2006	nHv bis -10	2396	1874	n.b.	2,9	10,0	1,2	1,6	31,1	22,1	1,5	14,3
		± 508	± 475	n.b.	$\pm 0,8$	$\pm 1,6$	$\pm 0,3$	$\pm 0,1$	$\pm 7,2$	$\pm 3,1$	$\pm 0,1$	$\pm 0,8$
2011	nHv bis -10	4972	833	n.b.	1,9	8,7	0,4	2,3	56,7	20,3	1,5	13,7
		± 173	± 37	n.b.	$\pm 0,1$	$\pm 1,1$	$\pm 0,0$	$\pm 0,1$	$\pm 9,2$	$\pm 2,4$	$\pm 0,1$	$\pm 0,3$
2013	nHv bis -10	3503	3430	280	9,0	6,5	2,6	2,6	51,4	19,9	1,5	13,3
		± 369	± 356	± 26	$\pm 1,3$	$\pm 2,1$	$\pm 0,4$	$\pm 0,4$	$\pm 10,8$	$\pm 2,0$	$\pm 0,1$	$\pm 0,4$
2016	nHv bis -10	3953	1909	243	7,2	9,8	1,8	3,9	30,0	21,2	1,6	13,7
		± 430	± 393	± 36	$\pm 0,8$	$\pm 3,0$	$\pm 0,2$	$\pm 0,6$	$\pm 2,7$	$\pm 0,9$	$\pm 0,1$	$\pm 0,3$
2019	nHv bis -10	6322	2135	418	3,5	9,4	0,5	1,6	32,1	20,5	1,5	13,6
		± 302	± 252	± 24	$\pm 0,4$	$\pm 1,3$	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$	$\pm 5,4$	$\pm 2,7$	$\pm 0,2$	$\pm 0,4$

Fortsetzung: Tabelle 4.15

Jahr	Boden- horizont	$C_{mic-CFE} /$ Fläche	$C_{mic-SIR} /$ Fläche	$N_{mic-CFE} /$ Fläche	$R_{B-Hein} /$ Fläche	ARG / Fläche	$Q_{mic-CFE} /$ $C_{mic-CFE} /$ C_{org}	$Q_{mic-SIR} /$ $C_{mic-SIR} /$ C_{org}	$N_{min} /$ Fläche	$C_{org} /$ Fläche	$N_t /$ Flä- che	pH
		$g\ m^{-2}$	$g\ m^{-2}$	$g\ m^{-2}$	$mg\ CO_2-C$ $m^{-2}\ h^{-1}$	$mg\ NH_4^{+}-$ $N\ m^{-2}\ h^{-1}$	%	%	$kg\ ha^{-1}$	$g\ m^{-2}$	$g\ m^{-2}$	
1996	nHv	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	1,7	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	4,9
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
1999	nHv bis -10	45,2	96,7	8,9	110,8	982,8	0,5	1,0	34,6	9864	858	5,2
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
2002	nHv bis -30	314,2	204,5	35,8	352,8	371,5	1,3	0,8	135,4	25236	1910	5,2
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	± 0,1
2006	nHv bis -10	103,0	80,6	n.b.	125,3	427,8	1,1	0,9	13,4	9494	661	4,6
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	± 0,4	± 0,3	n.b.	n.b.	n.b.	± 0,5
2011	nHv bis -10	250,2	41,9	n.b.	97,5	436,6	2,5	0,4	28,5	10198	745	5,0
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	± 0,2	± 0,0	n.b.	n.b.	n.b.	± 0,1
2013	nHv bis -10	155,7	152,5	12,4	399,4	289,3	1,8	1,7	22,8	8852	663	5,0
		± 18,9	± 15,8	± 1,3	± 68,8	± 91,6	± 0,3	± 0,2	± 5,5	± 1030	± 64	± 0,1
2016	nHv bis -10	181,1	87,4	11,2	327,9	450,6	1,9	0,9	13,7	9711	712	4,7
		± 19,7	± 18,0	± 1,7	± 38,5	± 135,6	± 0,2	± 0,1	± 1,2	± 421	± 46	± 0,2
2019	nHv bis -10	302,8	102,3	20,0	165,4	448,6	3,1	1,1	15,4	9801	721	4,7
		± 14,5	± 12,1	± 1,2	± 18,8	± 63,3	± 0,3	± 0,2	± 2,6	± 1287	± 79	± 0,2

4.3.4 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zu abiotischen Standortfaktoren

Eine signifikante Korrelation zwischen bodenmikrobiologischen und abiotischen Parametern besteht zwischen der Argininammonifikation (ARG) und dem Gesamtstickstoff (N_t , $r = 0,844$, $p < 0,05$, $N = 7$). Eine Erhöhung des Gesamtstickstoffs bewirkte eine Zunahme der ARG. Auch die bodenkundliche Feuchtestufe korreliert signifikant sowohl mit dem Gehalt der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$, $r = -0,817$, $p < 0,05$, $N = 6$) als auch mit dem metabolischen Quotienten der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{met-SIR}$, $r = -0,904$, $p < 0,05$, $N = 5$). Somit führten trockenere Bodenbedingungen zu einem Anstieg des $C_{mic-CFE}$ -Gehaltes sowie zu einer Verringerung der Effizienz der glucoseaktivierten Mikroorganismen.

Auf dem Niedermoorstandort herrschen insgesamt durch die hohen C_{org} - und N_t -Gehalte sowie durch die geringe Bodendichte günstige Bedingungen für Mikroorganismen.

4.3.5 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zum Klima und zur Witterung

Die Bodenmikrobiologie korreliert mit den klimatischen Gegebenheiten in einem Fall. Dieser betrifft den Gehalt des mikrobiellen Stickstoffs ($N_{mic-CFE}$) und die Niederschläge der jeweiligen Vorjahre ($r = -0,899$, $p < 0,05$, $N = 5$). Niederschlagsreiche Vorjahre gingen mit geringeren $N_{mic-CFE}$ -Gehalten einher.

4.3.6 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Bewirtschaftung

Die Bewirtschaftung der Fläche beinhaltet regelmäßig die Beweidung durch Rinder sowie die Pflege der Grasnarbe. Über eine zusätzliche mineralische oder organische Düngung liefert die Schlagkartei keine Informationen. Zwischen den Jahren 1999 und 2011 zeigte die mikrobielle Biomasse ($C_{mic-CFE}$) eine starke Zunahme, was auf günstige Wachstumsbedingungen hinweist. Inwieweit diese aus der Bewirtschaftung resultieren, ist nicht eindeutig bestimmbar. Möglich ist jedoch, dass die sehr intensive Beweidung der Jahre 1999 bis 2009 durch hohe Stoffeinträge noch bis in die Jahre 2011 und 2013 nachwirkte. Die Beweidungsintensität hat sich zwischen den Jahren 2011 und 2015 nicht mehr verändert, so dass kein Zusammenhang mit dem erneuten $C_{mic-CFE}$ -Anstieg besteht.

4.3.7 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Vegetationskunde

Die vegetationskundlichen Untersuchungen erfolgten in den Jahren 2009 und 2015. Der Standort wurde dabei durch das Auftreten von Zeigerarten als feucht bis nass, neutral bis mäßig sauer sowie als mäßig bis nährstoffreich charakterisiert (Brandt, 2016). Zum Jahr 2015 reduzierte sich die Feuchtezahl um 0,5 Einheiten während die Stickstoffzahl nur geringfügig zunahm. Bodenmikrobiologisch zeigte sich zwischen den Untersuchungen 2011 und 2013 insgesamt eine Abnahme des $C_{mic-CFE}$ -Gehaltes sowie eine Zunahme des $C_{mic-SIR}$ -Gehaltes. Die weitere $C_{mic-CFE}$ -Zunahme zur aktuellen Untersuchung spiegelt sich in den Zeigerverhältnissen der Vegetation nicht wider. Weiß-Klee ist als Leguminosen-Art im Artenspektrum vertreten und fördert die Stickstoffversorgung im Boden. Mikroorganismen finden an diesem Standort günstige Bedingungen zum Wachstum vor.

4.3.8 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Bodenzoologie

Die letzte bodenzoologische Untersuchung fand im Jahr 2015 statt. Unter Einbeziehung der Ergebnisse der Voruntersuchungen zeigt sich, dass die Biomasse der Regenwürmer seit dem Jahr 1995 kontinuierlich zunahm, während die Abundanz der Kleinringelwürmer bis zum Jahr 2008 deutlich abnahm und zum Jahr 2015 erneut anstieg. Bei den Gehalten der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$) ist zu erkennen, dass diese zwischen den Jahren 1999 und 2016 einen zunehmenden Trend zeigten, mit einem Zwischenhoch im Jahr 2011.

4.4 BDF33 Hellbachtal

4.4.1 Situation bei der Probenentnahme

Tabelle 4.16: Temperatur und Niederschlag zum Jahreswechsel 2018/2019 an der BDF33. Monatsdurchschnittstemperatur in °C, Monatsniederschlagssumme in mm.

Jahr	Monat	Monatsdurchschnitts- temperatur, °C	Niederschlag, mm/Monat
2018	Oktober	10,5	24
	November	5,1	12
	Dezember	4,9	71
2019	Januar	1,7	61
	Februar	4,4	23
	März	6,8	78
Dez. 18 - Feb. 19		3,7	155

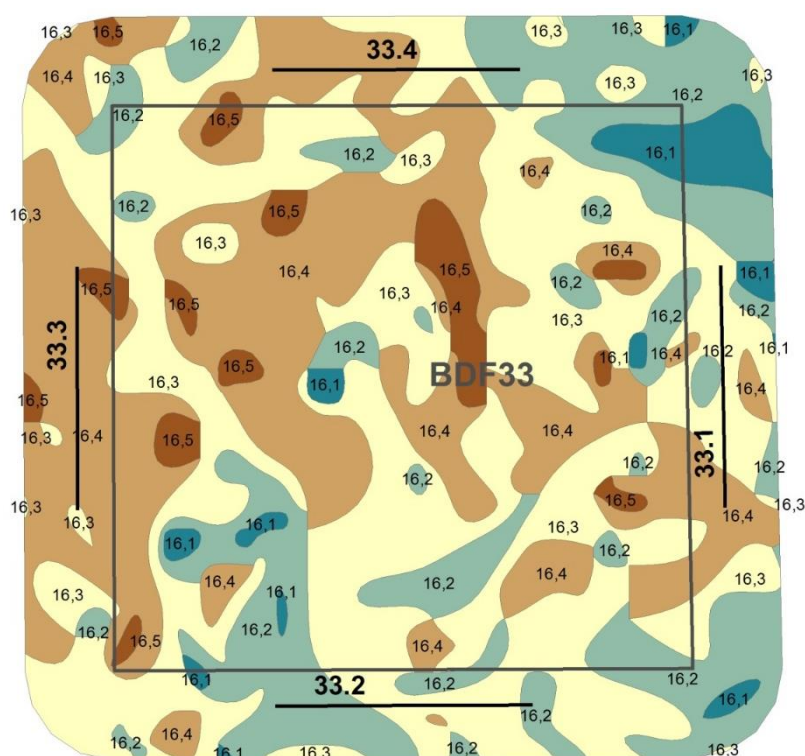


Abbildung 4.19: Lage der Probenentnahmestellen an der BDF33 (33.1-4).

Tabelle 4.17: Bedingungen während der Probenentnahme an der BDF33 (Probenentnahmeprotokoll). Für die Witterungsverhältnisse und die Bodenbeschaffenheit sind die Abkürzungen nach Ad-Hoc-ARBEITSGRUPPE BODEN, 2005, angegeben.

Bearbeiter	Schröder/ Henningsen
Datum	08.04.2019
Beginn	09:15 Uhr
Temperatur, GOF	9,7°C
Temperatur, 10cm	8,1°C
Frost	6 Tage
Niederschlag	keine Niederschläge seit 24 Std.
Bodenfeuchte	nass, breiig
Wasserüberstau	
Vegetation, Zusammensetzung	Gräser, Kräuter, Nässezeiger, Ruderalarten
Nutzungsspuren	Grasüberstand aus letztem Jahr
Pflegemaßnahmen	nicht erkennbar
Tiereinflüsse	Wildschweine
Düngespuren	nicht erkennbar
Vegetation, Einheitlichkeit	uneinheitlich
Höhe Vegetation	10-25 cm
Bodenbedeckung	lückig, >25% freier Boden
Bemerkung	Wasser im Rohr: 0,25 m

4.4.2 Analyseergebnisse und Klassifikation

Die BDF33 Hellbachtal liegt auf extensiv bewirtschaftetem Grünland. Die Bodenform ist vererdetes Niedermoor aus Niedermoortorf. Der Boden wurde bis 10 cm Tiefe beprobt. Die abiotischen Parameter sind in der Tabelle 4.18 dargestellt. Aufgrund der organischen Beschaffenheit des Bodens besitzt die BDF33 nach der BDF25 den zweithöchsten Anteil organischen Kohlenstoffs (C_{org}) von allen im Jahr 2019 untersuchten BDF. Gemäß Ad hoc AG-Boden (2005) wird der Boden als extrem humos bzw. anmoorig eingestuft. Aufgrund des C_{org} -Gehaltes von ca. 12 %, welches einem Humusgehalt von ca. 24 % entspricht, kann der Boden nicht als Moor klassifiziert werden. Der Gesamtstickstoffgehalt (N_t) ist ebenfalls der zweithöchste und ausreichend hoch, um im C_{org}/N_t -Verhältnis von ca. 11 eine hohe Humusqualität zu ermöglichen. Im Vergleich mit dem anderen Niedermoorstandort (BDF25) ist das C_{org}/N_t -Verhältnis der BDF33 deutlich enger. Der Gehalt des löslichen Stickstoffs (N_{min}) ist für organische Grünlandböden mittel hoch, wobei der Ammoniumgehalt als hoch und der Nitratgehalt als sehr niedrig eingestuft werden. Die Trockenrohdichte wird als sehr gering eingestuft und ist nahezu identisch mit der Trockenrohdichte der BDF25. Aufgrund des pH-Wertes von 5,5 wird der Oberboden der BDF33 als mäßig sauer klassifiziert und ist weniger sauer als der Boden der BDF25.

Die bodenmikrobiologischen Parameter der BDF33 sind in der Tabelle 4.19 aufgeführt. Die mikrobielle Biomasse ($C_{\text{mic-CFE}}$) wird für organische Grünlandböden als sehr hoch eingestuft. Diese ist nahezu gleich hoch wie auf der BDF25 und somit eine der höchsten aller im Jahr 2019 untersuchten Grünland-BDF. Der Gehalt der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{\text{mic-SIR}}$) wird hingegen als sehr niedrig eingestuft. Der Gehalt des mikrobiellen Stickstoffs ($N_{\text{mic-CFE}}$) im Oberboden der BDF33 ist sehr hoch. Die Basalatmung ($R_{\text{B-Hein}}$) wird als mittel hoch eingestuft während die Argininammonifikation (ARG) als niedrig klassifiziert wird. Der mikrobielle Quotient ($Q_{\text{mic-CFE}}$) wird als sehr hoch eingestuft, während der mikrobielle Quotient der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{\text{mic-SIR}}$) lediglich im niedrigen Bereich liegt. Bei den metabolischen Quotienten ($Q_{\text{met-CFE}}$ und $Q_{\text{met-SIR}}$) zeigt der $Q_{\text{met-CFE}}$ die Einstufung als niedrig, während der $Q_{\text{met-SIR}}$ als sehr hoch eingestuft wird.

Tabelle 4.18: Ergebnisse der bodenchemischen Analyse 2019 der BDF33 (Hellbachtal). Aufgeführt sind der organische Kohlenstoffgehalt (C_{org}) und der Gesamtstickstoffgehalt (N_{t}) in $\text{cg g}^{-1}\text{TG}$, sowie das Verhältnis von organischem Kohlenstoff zu Stickstoff im Boden ($C_{\text{org}} / N_{\text{t}}$), der gelöste Stickstoffgehalt (N_{min}) berechnet aus der Summe von Ammonium ($\text{NH}_4^{+}\text{-N}$), Nitrit ($\text{NO}_2^{-}\text{-N}$) und Nitrat ($\text{NO}_3^{-}\text{-N}$), die Trockenrohddichte in g TG cm^{-3} , der Wassergehalt in $\text{mg g}^{-1}\text{ TG}$ und der pH gemessen in CaCl_2 . Die Werte stellen jeweils den Mittelwert aus acht Parallelen dar und sind mit der Standardabweichung angegeben. Farbkodierungen zur Bewertung siehe Anhang Tabelle A 2, A 3, A 4 und A 5.

Boden-horizont	C_{org}	N_{t}	$C_{\text{org}} / N_{\text{t}}$	N_{min}	$\text{NH}_4^{+}\text{-N}$	$\text{NO}_2^{-}\text{-N}$	$\text{NO}_3^{-}\text{-N}$
Tiefe, cm	$\text{cg g}^{-1}\text{ TG}$	$\text{cg g}^{-1}\text{ TG}$		$\mu\text{g g}^{-1}\text{ TG}$	$\mu\text{g g}^{-1}\text{ TG}$	$\mu\text{g g}^{-1}\text{ TG}$	$\mu\text{g g}^{-1}\text{ TG}$
nHv bis -10	12,1	1,1	11,3	41,8	41,5	0,0	0,3
	$\pm 0,8$	$\pm 0,1$	$\pm 0,3$	$\pm 10,1$	$\pm 10,2$	$\pm 0,0$	$\pm 0,3$

Boden-horizont	$C_{\text{org}} / \text{Fläche}$	$N_{\text{t}} / \text{Fläche}$	$N_{\text{min}} / \text{Fläche}$	$N_{\text{min}} / \text{Fläche}$	Trockenroh-dichte	Wasser-gehalt	pH
Tiefe, cm	g m^{-2} Horizonttiefe	g m^{-2} Horizonttiefe	g m^{-2} Horizonttiefe	kg N ha^{-1} Horizonttiefe	g TG cm^{-3}	$\text{mg g}^{-1}\text{ TG}$	
nHv bis -10	5175	459	1,8	17,9	0,4	1373	5,5
	± 325	± 27	$\pm 0,4$	$\pm 4,3$	$\pm \text{n.b.}$	± 132	$\pm 0,1$

Tabelle 4.19: Ergebnisse der bodenmikrobiologischen Analyse 2019 der BDF33 (Hellbachtal). Aufgeführt ist der mikrobielle Kohlenstoffgehalt, gemessen mit der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($C_{mic-CFE}$) und über die Substratinduzierte Atmung (SIR) mit der Heinemeyernanalyse ($C_{mic-SIR}$), außerdem der mikrobielle Stickstoffgehalt, gemessen mit der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($N_{mic-CFE}$). Angegeben sind weiterhin die mikrobielle Basalatmung, gemessen als CO_2 -Produktionsrate mithilfe der Heinemeyernanlage (R_{B-Hein}) und die potentielle Ammonifikation nach der Arginin-Ammonifikationsmethode (ARG). Des weiteren sind der metabolische Quotient und der mikrobielle Quotient jeweils aus den Ergebnissen der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($C_{mic-CFE}$) und der Heinemeyernanlage ($C_{mic-SIR}$) berechnet. Die Werte stellen jeweils den Mittelwert aus acht Parallelen dar und sind mit der Standardabweichung angegeben. Farbkodierungen siehe Anhang A 6. Im unteren Teil der Tabelle sind die verschiedenen Parameter bezogen auf die Fläche angegeben.

Boden-horizont	$C_{mic-CFE}$	$C_{mic-SIR}$	$N_{mic-CFE}$	R_{B-Hein}	ARG	$Q_{mic-CFE}$ $C_{mic-CFE} / C_{org}$	$Q_{mic-SIR}$ $C_{mic-SIR} / C_{org}$
Tiefe, cm	$\mu g\ g^{-1} TG$	$\mu g\ g^{-1} TG$	$\mu g\ g^{-1} TG$	$\mu g\ CO_2-C$ $g^{-1} TG\ h^{-1}$	$\mu g\ NH_4^+-N$ $g^{-1} TG\ h^{-1}$	%	%
nHv bis - 10	6298	828	486	3,8	7,6	5,2	0,7
	± 629	± 283	± 49	$\pm 0,2$	$\pm 1,5$	$\pm 0,5$	$\pm 0,2$

Boden-horizont	$C_{mic-CFE} /$ Fläche	$C_{mic-SIR} /$ Fläche	$N_{mic-CFE} /$ Fläche	$R_{B-Hein} /$ Fläche	ARG / Fläche	$Q_{met-CFE}$ $R_{B-Hein} / C_{mic-CFE}$	$Q_{met-SIR}$ $R_{B-Hein} / C_{mic-SIR}$
Tiefe, cm	$g\ m^{-2}$ Horizonttiefe	$g\ m^{-2}$ Horizonttiefe	$g\ m^{-2}$ Horizonttiefe	$mg\ CO_2-C$ $m^{-2}\ h^{-1}$ Horizonttiefe	$mg\ NH_4^+-N$ $m^{-2}\ h^{-1}$ Horizonttiefe	$\mu g\ CO_2-C$ $mg^{-1} C_{mic-CFE}\ h^{-1}$	$\mu g\ CO_2-C$ $mg^{-1} C_{mic-SIR}\ h^{-1}$
nHv bis - 10	270	35	20,8	164	327	0,6	5,4
	± 27	± 12	$\pm 2,1$	± 9	± 65	$\pm 0,0$	$\pm 2,0$

4.4.3 Zeitreihenvergleich

Die zeitliche Entwicklung des organischen Kohlenstoffs (C_{org}) im Oberboden der BDF33 ist in der Abbildung 4.20 dargestellt. Zu erkennen ist, dass der C_{org} -Gehalt im Zeitraum der Jahre 2011 bis 2016, in denen einheitlich bis 10 cm beprobt wurde, nur leichten Schwankungen unterlag. Gegenüber der Voruntersuchung 2013 war der C_{org} -Gehalt im Jahr 2016 geringfügig niedriger, erreichte im Jahr 2019 jedoch erneut das Niveau des Jahres 2013. Die C_{org} -Schwankungen der vorherigen Untersuchungen hängen mit unterschiedlichen Beprobungstiefen zusammen.

Der pH blieb im gesamten Untersuchungszeitraum weitgehend konstant. Die mikrobielle Biomasse ($C_{mic-CFE}$) nahm zwischen den Jahren 2011 und 2016 kontinuierlich ab, zeigte dann jedoch einen sehr starken Anstieg zum Jahr 2019 auf den doppelten Wert der Voruntersuchung während die glucoseaktivierte mikrobielle Biomasse ($C_{mic-SIR}$) im gleichen Zeitraum schwankte und zum Jahr 2016 zugenommen hat. Zum Jahr 2019 nahm der $C_{mic-SIR}$ -Gehalt deutlich ab und erreichte in etwa das Niveau des Jahres 2013. Die mikrobiellen Quotienten entwickelten sich seit 2011 analog zu den mikrobiellen Biomassen.

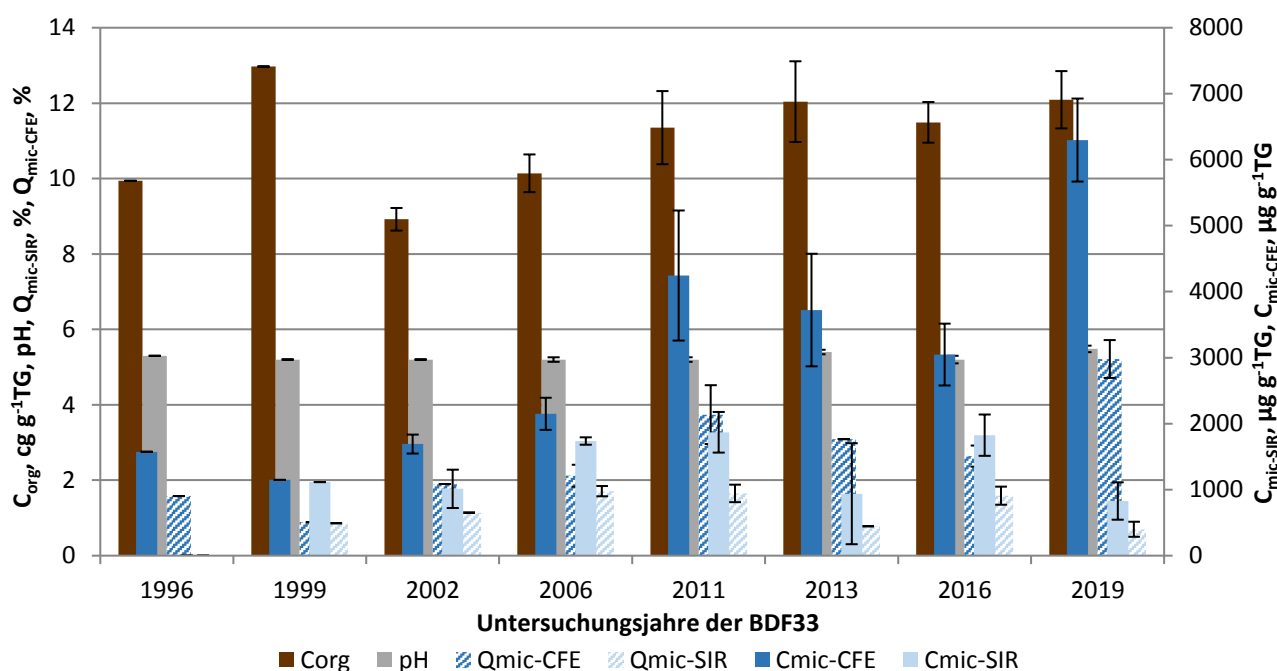


Abbildung 4.20: Ergebnisse der BDF33 der gesamten Untersuchungsjahre des organischen Kohlenstoffgehaltes (C_{org}), des pH-Wertes, der gesamten ($C_{mic-CFE}$) und der glucoseaktivierten ($C_{mic-SIR}$) mikrobiellen Biomasse und des Anteils dieser Biomasse am organischen Kohlenstoffgehalt ($Q_{mic-CFE}$ und $Q_{mic-SIR}$). Fehlerbalken stellen die Standardabweichung aus vier Einzelergebnissen dar.

Die zeitliche Entwicklung der Basalatmung ($R_{B\text{-Hein}}$) ist in der Abbildung 4.21 dargestellt. Zu erkennen ist, dass die Basalatmung sowie der metabolische Quotient (Q_{metCFE}) zwischen den Jahren 1999 und 2016 deutlich schwankten und zwischen 2013 und 2016 zunahmen. Zum Untersuchungsjahr 2019 zeigten beide Parameter jedoch eine Abnahme.

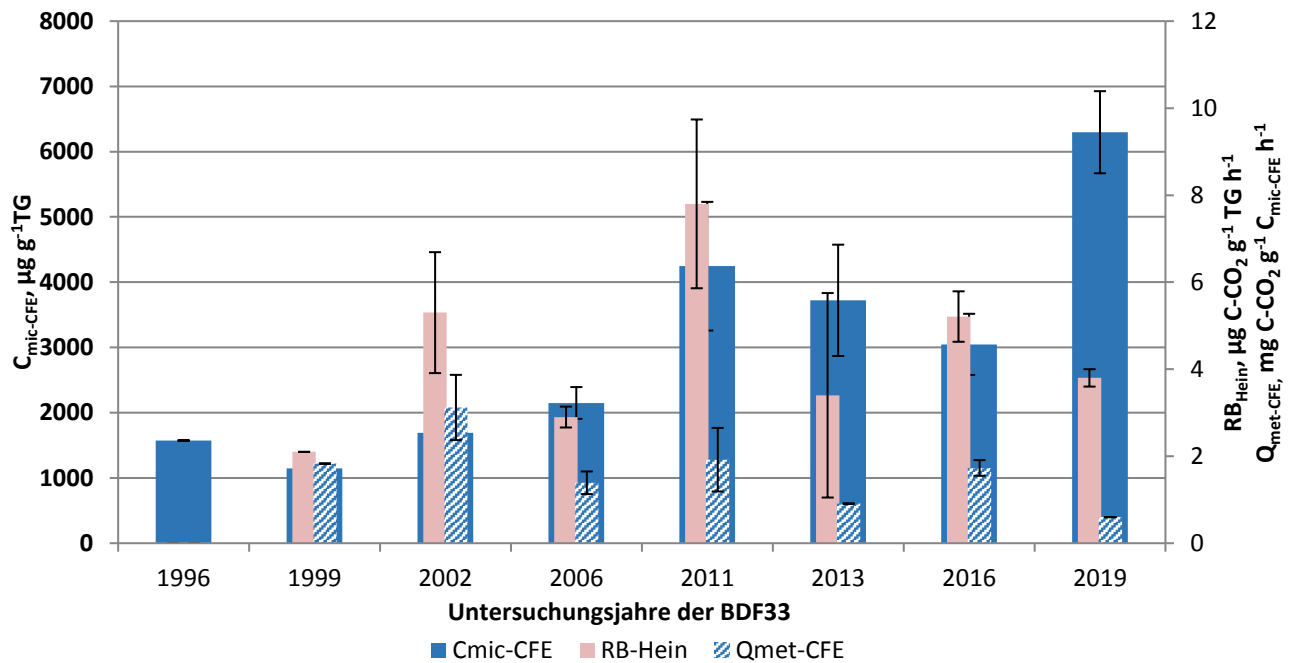


Abbildung 4.21: Ergebnisse der mikrobiellen Aktivität der BDF33 der gesamten Untersuchungsjahre, dargestellt anhand der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{\text{mic-CFE}}$), ihrer Basalatmung ($R_{B\text{-Hein}}$) und der mikrobiellen Aktivität ($Q_{\text{met-CFE}}$) bezogen auf das Trockengewicht.

Die Zeitreihe der Argininammonifikation (ARG) und des Gehalts an löslichem Stickstoff (N_{\min}) ist in der Abbildung 4.22 dargestellt. Zu erkennen ist, dass beide Parameter im Zeitraum der letzten vier Untersuchungsjahre (2011 bis 2019), in denen einheitlich bis 10 cm beprobt wurde, teilweise deutlich schwankten. Gegenüber dem Untersuchungsjahr 2011 nahmen aktuell sowohl die Argininammonifikation als auch die N_{\min} -Gehalte insgesamt ab. Die Argininammonifikation war 2016 jedoch höher als 2013. Zum Untersuchungsjahr 2019 zeigte sich lediglich ein Anstieg des N_{\min} -Gehaltes.

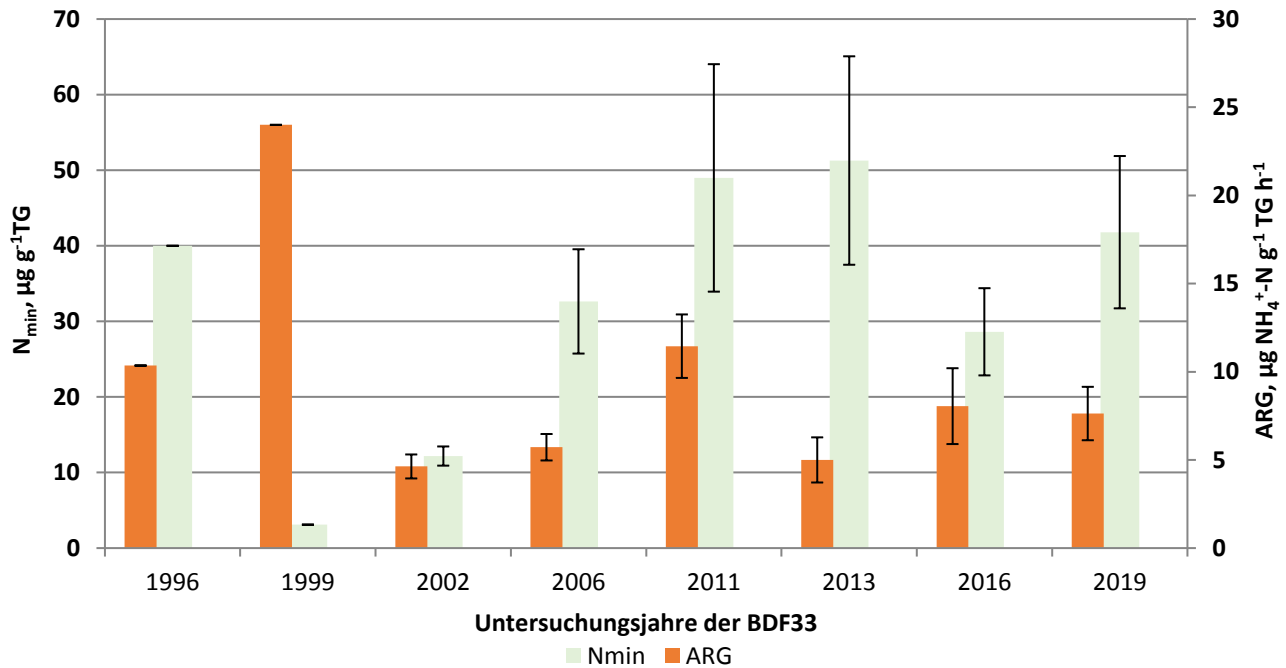


Abbildung 4.22: Darstellung des löslichen Stickstoffs (N_{\min}) und der Argininammonifikation (ARG) der gesamten Untersuchungsjahre der BDF33.

Tabelle 4.20: Vergleich von mikrobiologischen und abiotischen Analyseergebnissen aus den acht Beprobungsjahren der BDF33. Angegeben ist jeweils der Mittelwert aus mindestens drei Parallelen und, wenn berechnet, die Standardabweichung dieses Wertes. Eine genauere Beschreibung der Tabelle ist im Anhang A 7.

Jahr	Boden- horizont Tiefe, cm	$C_{mic-CFE}$	$C_{mic-SIR}$ Hein	$N_{mic-CFE}$	R_{B-Hein}	ARG	$Q_{met-CFE}$ $R_{B-Hein} /$ $C_{mic-CFE}$	$Q_{met-SIR}$ $R_{B-Hein} /$ $C_{mic-SIR}$	N_{min}	C_{org}	N_t	C_{org} / N_t
		$\mu g\ g^{-1} TG$	$\mu g\ g^{-1} TG$	$\mu g\ g^{-1} TG$	$\mu g\ CO_2-C$ $g^{-1} TG\ h^{-1}$	$\mu g\ NH_4^{+}-$ $N\ g^{-1} TG$ h^{-1}	$\mu g\ CO_2-C$ $mg^{-1} C_{mic-}$ $CFE\ h^{-1}$	$\mu g\ CO_2-C$ $mg^{-1} C_{mic-}$ $SIR\ h^{-1}$	$\mu g\ g^{-1} TG$	$cg\ g^{-1} TG$	$cg\ g^{-1} TG$	
1996	nHv	1574	n.b.	399	n.b.	10,4	n.b.	n.b.	40,0	9,9	0,8	12,9
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
1999	nHv bis -5	1148	1115	201	2,1	24,0	1,8	1,9	3,1	13,0	1,3	9,8
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
2002	nHv bis -20	1691	1012	131	5,3	4,6	3,1	5,2	12,2	8,9	0,9	9,8
		± 144	± 291	± 25	$\pm 1,4$	$\pm 0,7$	$\pm 0,8$	$\pm 0,3$	$\pm 1,3$	$\pm 0,3$	$\pm 0,1$	$\pm 0,8$
2006	nHv bis -5	2149	1737	n.b.	2,9	5,7	1,4	1,7	32,6	10,1	0,9	11,4
		± 243	± 56	n.b.	$\pm 0,2$	$\pm 0,8$	$\pm 0,3$	$\pm 0,2$	$\pm 6,9$	$\pm 0,5$	$\pm 0,1$	$\pm 0,7$
2011	nHv bis -10	4245	1870	n.b.	7,8	11,5	1,9	4,2	49,0	11,4	1,0	11,1
		± 986	± 308	n.b.	$\pm 1,9$	$\pm 1,8$	$\pm 0,7$	$\pm 0,9$	$\pm 15,1$	$\pm 1,0$	$\pm 0,1$	$\pm 0,4$
2013	nHv bis -10	3722	938	290	3,4	5,0	0,9	3,6	51,3	12,0	1,1	11,3
		± 853	± 765	± 89	$\pm 2,4$	$\pm 1,3$	$\pm 0,4$	$\pm 0,8$	$\pm 13,8$	$\pm 1,1$	$\pm 0,1$	$\pm 0,4$
2016	nHv bis -10	3047	1826	196	5,2	8,1	1,7	2,9	28,6	11,5	1,0	11,2
		± 468	± 313	± 47	$\pm 0,6$	$\pm 2,2$	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$	$\pm 5,8$	$\pm 0,5$	$\pm 0,1$	$\pm 0,3$
2019	nHv bis -10	6298	828	486	3,8	7,6	0,6	5,4	41,8	12,1	1,1	11,3
		± 629	± 283	± 49	$\pm 0,2$	$\pm 1,5$	$\pm 0,0$	$\pm 2,0$	$\pm 10,1$	$\pm 0,8$	$\pm 0,1$	$\pm 0,3$

Fortsetzung: Tabelle 4.20

Jahr	Boden- horizont	$C_{mic-CFE} /$ Fläche	$C_{mic-SIR} /$ Fläche	$N_{mic-CFE} /$ Fläche	$R_{B-Hein} /$ Fläche	ARG / Fläche	$Q_{mic-CFE} /$ $C_{mic-CFE} /$ C_{org}	$Q_{mic-SIR} /$ $C_{mic-SIR} /$ C_{org}	$N_{min} /$ Fläche	$C_{org} /$ Fläche	$N_t /$ Fläche	pH
		g m ⁻²	g m ⁻²	g m ⁻²	mg CO ₂ -C m ⁻² h ⁻¹	mg NH ₄ ⁺ - N m ⁻² h ⁻¹	%	%	kg ha ⁻¹	g m ⁻²	g m ⁻²	
1996	nHv	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	1,6	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	5,3
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
1999	nHv bis -5	31,0	30,1	5,4	56,7	648,0	0,9	0,9	0,8	3501	359	5,2
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
2002	nHv bis -20	182,3	109,1	14,1	569,5	498,6	1,9	1,1	13,1	9614	988	5,2
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	± 0,0
2006	nHv bis -5	48,4	39,1	n.b.	66,0	128,7	2,1	1,7	7,3	2282	202	5,2
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	± 0,3	± 0,1	n.b.	n.b.	n.b.	± 0,1
2011	nHv bis -10	263,0	115,8	n.b.	480,4	709,3	3,7	1,7	30,3	7030	633	5,2
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	± 0,8	± 0,2	n.b.	n.b.	n.b.	± 0,1
2013	nHv bis -10	167,2	42,2	13,0	152,7	224,7	3,1	0,8	23,0	5407	481	5,4
		± 44,2	± 34,4	± 4,6	± 121,9	± 57,4	± 0,5	± 0,5	± 7,2	± 556	± 57	± 0,1
2016	nHv bis -10	145,2	87,0	9,4	248,1	383,8	2,6	1,6	13,6	5475	491	5,2
		± 22,3	± 14,9	± 2,2	± 27,6	± 102,5	± 0,3	± 0,2	± 2,8	± 256	± 33	± 0,1
2019	nHv bis -10	269,5	35	20,8	164,3	326,6	5,2	0,7	17,9	5175	459	5,5
		± 26,9	± 12	± 2,1	± 9,0	± 64,8	± 0,5	± 0,2	± 4,3	± 325	± 27	± 0,1

4.4.4 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zu abiotischen Standortfaktoren

Die Gehalte der löslichen Stickstoffverbindungen (N_{\min}) korrelieren signifikant mit dem Gehalt der mikrobiellen Biomasse ($C_{\text{mic-CFE}}$, $r = 0,776$, $p < 0,05$, $N = 7$) und mit dem mikrobiellen Quotienten ($Q_{\text{mic-CFE}}$, $r = 0,782$, $p < 0,05$, $N = 7$). Ein Anstieg der N_{\min} -Gehalte zeigte sich somit ebenso in einem Anstieg der mikrobiellen Biomasse sowie in einem Anstieg ihres Anteils am organischen Kohlenstoffgehalt. Zudem erfolgte eine Zunahme des mikrobiellen Stickstoffs ($N_{\text{mic-CFE}}$) mit zunehmendem $C_{\text{org}}/N_{\text{t}}$ -Verhältnis ($r = 0,913$, $p < 0,05$, $N = 5$).

Der Standort bietet mit seinem hohen C_{org} -Gehalt und mit der hohen Humusqualität günstige Bedingungen für Bodenmikroorganismen. Auch die geringe Trockenrohdichte, der hohe Ammoniumgehalt sowie die gute Wasserversorgung fördern das Wachstum der Mikroorganismen, so dass die mikrobielle Biomasse ($C_{\text{mic-CFE}}$) auf dieser BDF zu den höchsten der untersuchten BDF gehört.

4.4.5 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zum Klima und zur Witterung

Es zeigen sich Beziehungen zwischen der Bodenmikrobiologie und den klimatischen Gegebenheiten durch eine signifikante Korrelation zwischen den Vorjahresniederschlägen und der Argininammonifikation (ARG, $r = 0,806$, $p < 0,05$, $N = 7$). Niederschlagsreichere Jahre hatten somit höhere Ammonifikationsraten zur Folge. Zudem weisen die Vorjahrestemperaturen eine signifikante Korrelation mit dem mikrobiellen Quotienten auf ($Q_{\text{mic-CFE}}$, $r = -0,998$, $p < 0,05$, $N = 3$). Nach wärmeren Jahren zeigten sich tendenziell niedrigere Anteile der mikrobiellen Biomasse am organischen Kohlenstoff. Durch den geringen Datenumfang ($N = 3$) ist diese Beziehung nur bedingt aussagekräftig.

4.4.6 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Bewirtschaftung

Die BDF33 wurde extensiv bewirtschaftet und bis ins Jahr 2000 regelmäßig mineralisch gedüngt. Ab 2007 diente die Fläche mit Unterbrechung dem Jungvieh als Weide. Ab etwa diesem Zeitpunkt erfolgten ein deutlicher Anstieg des Ammoniumgehalts (N_{\min}) sowie eine starke Zunahme der mikrobiellen Biomasse ($C_{\text{mic-CFE}}$) bis in die Jahre 2011 und 2013. Da gemäß Schlagkartei seit dem Jahr 2001 keine mineralischen Stickstoffverbindungen zugeführt wurden, ist die spätere Stickstoffversorgung auf die tierischen Ausscheidungen zurückzuführen. Die extensive Beweidung wurde bis zum Vorjahr der aktuellen Untersuchung fortgeführt.

4.4.7 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Vegetationskunde

Eine vegetationskundliche Untersuchung erfolgte zuletzt in den Jahren 2009 und 2015. Es wurden dabei zwei abgegrenzte Vegetationseinheiten (Schlankseggenried und Knickfuchsschwanzrasen) unterschieden. Im Vergleich mit den Voruntersuchungen zeigte sich die höchste Stickstoffzahl im Jahr 2006, welche zum Jahr 2015 kontinuierlich abnahm (Brandt, 2016). Die bodenchemische Untersuchung zeigte jedoch in den Jahren 2011 und 2013 die höchsten N_{\min} -Gehalte und eine starke Zunahme der mikrobiellen Biomasse zwischen den Jahren 2006 und 2011. Zur Untersuchung 2016 nahmen sowohl die Stickstoffzahl als auch die N_{\min} - und $C_{\text{mic-CFE}}$ -Gehalte weiter ab. Das Auftreten mehrerer Kleearten (Weißklee, Rotklee, Sumpf-Hornklee) spricht für eine Anreicherung des Bodens mit Luft-Stickstoff und für eine Begünstigung der Bodenmikroorganismen.

4.4.8 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Bodenzoologie

Die Untersuchung der Bodenzoologie fand zuletzt im Jahr 2015 statt. Seit der Erstuntersuchung im Jahr 1993 wurde ein Rückgang der Artenzahl und der Biomasse von Regenwürmern verzeichnet, bis

diese im Jahr 2015 durch Walzen nahezu gänzlich verschwunden sind. Kleinringelwürmer zeigten hingegen eine deutliche Zunahme sowohl in der Artenzahl als auch in ihrer Abundanz bis zum Jahr 2006, und nahmen bis zum Jahr 2015 erneut ab. Zwischen 1999 und 2011 zeigte auch die mikrobielle Biomasse ($C_{\text{mic-CFE}}$ und $C_{\text{mic-SIR}}$) einen deutlichen Zuwachs mit einem anschließenden Rückgang zum Jahr 2016.

4.5 BDF37 Hamburger Hallig

4.5.1 Situation bei der Probenentnahme

Tabelle 4.21: Temperatur und Niederschlag zum Jahreswechsel 2018/2019 an der BDF37. Monatsdurchschnittstemperatur in °C, Monatsniederschlagssumme in mm.

Jahr	Monat	Monatsdurchschnitts- temperatur, °C	Niederschlag, mm/Monat
2018	Oktober	11,3	49
	November	6,3	32
	Dezember	5,2	80
2019	Januar	2,4	44
	Februar	4,7	48
	März	6,4	110
Dez. 18 - Feb. 19		4,1	172

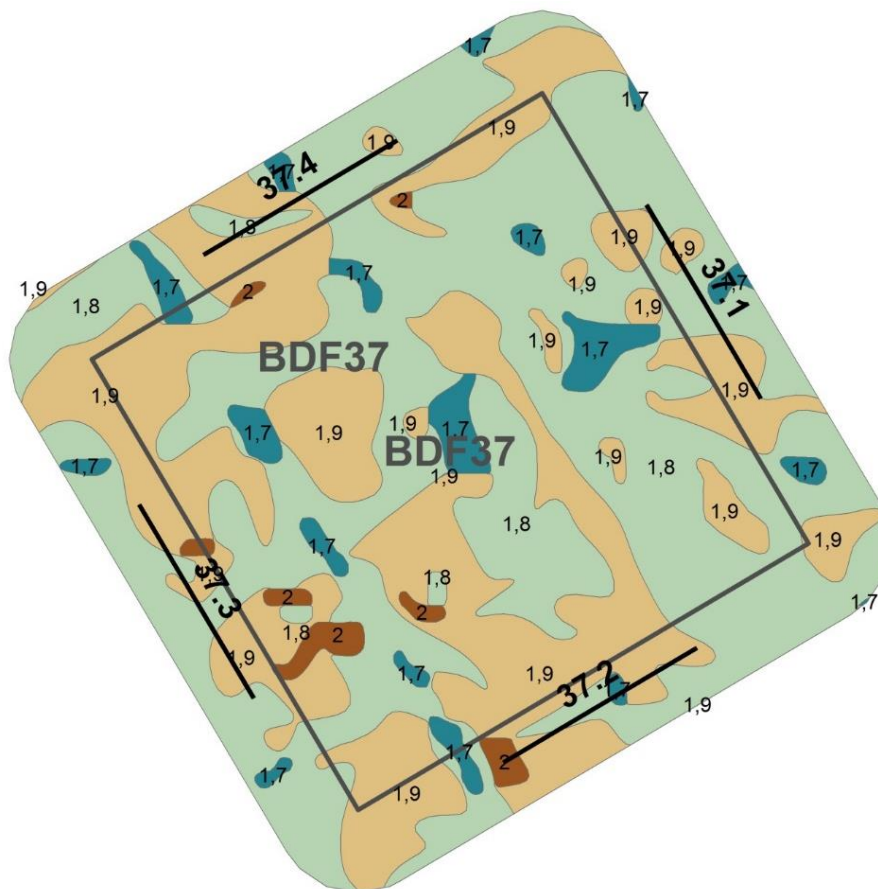


Abbildung 4.23: Lage der Probenentnahmestellen an der BDF37 (37.1-4).

Tabelle 4.22: Bedingungen während der Probenentnahme an der BDF37 (Probenentnahmeprotokoll). Für die Witterungsverhältnisse und die Bodenbeschaffenheit sind die Abkürzungen nach Ad-Hoc-ARBEITSGRUPPE BODEN, 2005, angegeben.

Bearbeiter	Schröder/ Henningsen
Datum	12.03.2019
Beginn	14:00 Uhr
Temperatur, GOF	4,8°C
Temperatur, 10cm	4,7°C
Frost	12 Tage
Niederschlag	stärkere Regenfälle seit mehreren Tagen
Bodenfeuchte	nass, breiig
Wasserüberstau	ja
Vegetation, Zusammensetzung	Gräser und Kräuter mit Nässezeigern
Nutzungsspuren	Grasüberstand aus letztem Jahr
Pflegemaßnahmen	nicht erkennbar
Tiereinflüsse	
Düngespuren	nicht erkennbar
Vegetation, Einheitlichkeit	uneinheitlich
Höhe Vegetation	> 10 cm
Bodenbedeckung	geschlossen, 0-25% freier Boden
Bemerkung	Wasser im Rohr: 0,16 m

4.5.2 Analyseergebnisse und Klassifikation

Die BDF37 Hamburger Hallig befindet sich auf einer extensiv beweideten Sukzessionsfläche im Deichvorland. Die Bodenform ist Rohmarsch aus holozänen, marinen Tonen und Schluffen. Der Boden wurde bis 10 cm Tiefe beprobt. Die abiotischen Parameter der BDF37 sind in der Tabelle 4.23 dargestellt. Der Gehalt organischen Kohlenstoffs (C_{org}) im Oberboden ist im Vergleich mit den übrigen Grünland-BDF, abgesehen von den Niedermoorstandorten, am höchsten. Der Boden wird daher nach Ad hoc AG-Boden (2005) als sehr stark humos eingestuft. Auch der Gesamtstickstoffgehalt (N_t) ist der höchste aller Grünland-Mineralböden und ermöglicht somit ein enges C_{org}/N_t -Verhältnis von 11, woraus eine hohe Humusqualität resultiert. Der Gehalt des löslichen Stickstoffs (N_{min}) ist für bindige Grünlandböden mittel hoch, wobei der Ammoniumgehalt als sehr hoch und der Nitratgehalt als sehr niedrig eingestuft wird. Nitrit wurde nicht nachgewiesen. Die Trockenrohdichte wird als sehr gering eingestuft und ist die geringste aller im Jahr 2019 untersuchten Mineralböden. Der Boden-pH-Wert von 7,1 liegt deutlich über dem Durchschnitt der übrigen BDF und ist der höchste aller im Jahr 2019 untersuchten BDF, wobei der C_{anorg} -Gehalt bei 0,1 % lag. Der Boden wird als neutral eingestuft.

Die bodenmikrobiologischen Parameter der BDF37 befinden sich in der Tabelle 4.24. Der Gehalt der mikrobiellen Biomasse ($C_{\text{mic-CFE}}$) wird für bindige Grünlandböden als sehr hoch klassifiziert. Die glucoseaktivierte mikrobielle Biomasse ($C_{\text{mic-SIR}}$) wird ebenso als sehr hoch eingestuft und weist einen höheren Gehalt als die Sukzessionsfläche der BDF21 auf. Der Gehalt des mikrobiellen Stickstoffs ($N_{\text{mic-CFE}}$) wird als sehr hoch eingestuft. Die Basalatmung ($R_{\text{B-Hein}}$) sowie die Argininammonifikation (ARG) im Oberboden der BDF37 sind ebenfalls sehr hoch. Auch der mikrobielle Quotient ($Q_{\text{mic-CFE}}$) wird als sehr hoch eingestuft. Der mikrobielle Quotient der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{\text{mic-SIR}}$) wird hingegen als hoch eingestuft. Die metabolischen Quotienten ($Q_{\text{met-CFE}}$ und $Q_{\text{met-SIR}}$) sind die höchsten aller Grünlandflächen und werden beide als hoch eingestuft.

Tabelle 4.23: Ergebnisse der bodenchemischen Analyse 2019 der BDF37 (Hamburger Hallig). Aufgeführt sind der organische Kohlenstoffgehalt (C_{org}) und der Gesamtstickstoffgehalt (N_{t}) in $\text{cg g}^{-1}\text{TG}$, sowie das Verhältnis von organischem Kohlenstoff zu Stickstoff im Boden ($C_{\text{org}} / N_{\text{t}}$), der gelöste Stickstoffgehalt (N_{min}) berechnet aus der Summe von Ammonium ($\text{NH}_4^+\text{-N}$), Nitrit ($\text{NO}_2^-\text{-N}$) und Nitrat ($\text{NO}_3^-\text{-N}$), die Trockenroh-dichte in g TG cm^{-3} , der Wassergehalt in $\text{mg g}^{-1}\text{TG}$ und der pH gemessen in CaCl_2 . Die Werte stellen jeweils den Mittelwert aus acht Parallelen dar und sind mit der Standardabweichung angegeben. Farbkodierungen zur Bewertung siehe Anhang Tabelle A 2, A 3, A 4 und A 5.

Boden-horizont	C_{org}	N_{t}	$C_{\text{org}} / N_{\text{t}}$	N_{min}	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	$\text{NO}_2^-\text{-N}$	$\text{NO}_3^-\text{-N}$
Tiefe, cm	$\text{cg g}^{-1}\text{TG}$	$\text{cg g}^{-1}\text{TG}$		$\mu\text{g g}^{-1}\text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1}\text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1}\text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1}\text{TG}$
zGo-Ah bis -10	5,0	0,5	11,0	18,8	18,5	0,0	0,4
	$\pm 0,3$	$\pm 0,0$	$\pm 0,2$	$\pm 1,3$	$\pm 1,4$	$\pm 0,0$	$\pm 0,1$

Boden-horizont	$C_{\text{org}} / \text{Fläche}$	$N_{\text{t}} / \text{Fläche}$	$N_{\text{min}} / \text{Fläche}$	$N_{\text{min}} / \text{Fläche}$	Trocken-roh-dichte	Wasser-gehalt	C_{anorg}	pH
Tiefe, cm	g m^{-2} Horizonttiefe	g m^{-2} Horizonttiefe	g m^{-2} Horizonttiefe	kg N ha^{-1} Horizonttiefe	g TG cm^{-3}	$\text{mg g}^{-1}\text{TG}$	$\text{cg g}^{-1}\text{TG}$	
zGo-Ah bis -10	2602	236	1,0	9,9	0,5	1388	0,1	7,1
	± 183	± 11	$\pm 0,1$	$\pm 0,7$	$\pm \text{n.b.}$	± 100	$\pm 0,0$	$\pm 0,1$

Tabelle 4.24: Ergebnisse der bodenmikrobiologischen Analyse 2019 der BDF37 (Hamburger Hallig). Aufgeführt ist der mikrobielle Kohlenstoffgehalt, gemessen mit der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($C_{mic-CFE}$) und über die Substratinduzierte Atmung (SIR) mit der Heinemeyeranalyse ($C_{mic-SIR}$), außerdem der mikrobielle Stickstoffgehalt, gemessen mit der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($N_{mic-CFE}$). Angegeben sind weiterhin die mikrobielle Basalatmung, gemessen als CO_2 -Produktionsrate mithilfe der Heinemeyeranlage (R_{B-Hein}) und die potentielle Ammonifikation nach der Arginin-Ammonifikationsmethode (ARG). Des weiteren sind der metabolische Quotient und der mikrobielle Quotient jeweils aus den Ergebnissen der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($C_{mic-CFE}$) und der Heinemeyeranlage ($C_{mic-SIR}$) berechnet. Die Werte stellen jeweils den Mittelwert aus acht Parallelen dar und sind mit der Standardabweichung angegeben. Farbkodierungen siehe Anhang A 6. Im unteren Teil der Tabelle sind die verschiedenen Parameter bezogen auf die Fläche angegeben.

Boden-horizont	$C_{mic-CFE}$	$C_{mic-SIR}$	$N_{mic-CFE}$	R_{B-Hein}	ARG	$Q_{mic-CFE}$ $C_{mic-CFE} / C_{org}$	$Q_{mic-SIR}$ $C_{mic-SIR} / C_{org}$
Tiefe, cm	$\mu g\ g^{-1} TG$	$\mu g\ g^{-1} TG$	$\mu g\ g^{-1} TG$	$\mu g\ CO_2-C\ g^{-1} TG\ h^{-1}$	$\mu g\ NH_4^+-N\ g^{-1} TG\ h^{-1}$	%	%
zGo-Ah bis -10	2388	1296	290	7,7	11,5	4,9	2,6
	± 256	± 100	± 40	$\pm 1,1$	$\pm 2,8$	$\pm 0,8$	$\pm 0,2$

Boden-horizont	$C_{mic-CFE} /$ Fläche	$C_{mic-SIR} /$ Fläche	$N_{mic-CFE} /$ Fläche	$R_{B-Hein} /$ Fläche	ARG / Fläche	$Q_{met-CFE}$ $R_{B-Hein} / C_{mic-CFE}$	$Q_{met-SIR}$ $R_{B-Hein} / C_{mic-SIR}$
Tiefe, cm	$g\ m^{-2}$ Horizonttiefe	$g\ m^{-2}$ Horizonttiefe	$g\ m^{-2}$ Horizonttiefe	$mg\ CO_2-C\ m^{-2}\ h^{-1}$ Horizonttiefe	$mg\ NH_4^+-N\ m^{-2}\ h^{-1}$ Horizonttiefe	$\mu g\ CO_2-C\ mg^{-1}\ C_{mic-CFE}\ h^{-1}$	$\mu g\ CO_2-C\ mg^{-1}\ C_{mic-SIR}\ h^{-1}$
zGo-Ah bis -10	125	68	15,1	404	603	3,3	6,0
	± 13	± 5	$\pm 2,1$	± 57	± 147	$\pm 0,5$	$\pm 1,1$

4.5.3 Zeitreihenvergleich

Die zeitliche Entwicklung des Gehalts organischen Kohlenstoffs (C_{org}) befindet sich grafisch in der Abbildung 4.24. Seit dem Jahr 2002 stieg der C_{org} -Gehalt beständig an und erreichte im Jahr 2016 den bisherigen Höchststand. Zum Jahr 2019 blieb der C_{org} -Gehalt annähernd gleich. Der Boden-pH blieb im gesamten Untersuchungszeitraum nahezu konstant. Der Gehalt der mikrobiellen Biomasse ($C_{\text{mic-CFE}}$) stieg zwischen den Untersuchungsjahren 2002 und 2011 kontinuierlich an und erreichte im Jahr 2011 einen ersten Peak. Zum Jahr 2013 reduzierte sich die $C_{\text{mic-CFE}}$ um etwa ein Drittel, es folgte jedoch eine deutliche Zunahme der mikrobiellen Biomasse zum Jahr 2016 und 2019 auf den bisherigen Höchststand. Die Entwicklung der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{\text{mic-SIR}}$) erfolgte bis zum Jahr 2016 analog zur $C_{\text{mic-CFE}}$, jedoch waren die Zu- und Abnahmen bis 2013 weniger stark ausgeprägt. Zum Jahr 2019 zeigte sich ein weiterer Anstieg im Gehalt der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse. Der mikrobielle Quotient ($Q_{\text{mic-CFE}}$) stieg zwischen den Untersuchungsjahren 2002 und 2011 auf mehr als das Dreifache an, zum Jahr 2013 erfolgte eine Abnahme um mehr als ein Drittel. Zum Jahr 2019 stieg der $Q_{\text{mic-CFE}}$ auf den bisherigen Höchstwert an. Der mikrobielle Quotient der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{\text{mic-SIR}}$) blieb in den ersten drei Untersuchungsjahren (2002 bis 2011) annähernd auf einem Niveau und zeigte erst zum Jahr 2013 eine Abnahme um etwa ein Viertel. Zum Jahr 2016 verdoppelte sich der $Q_{\text{mic-SIR}}$ und nahm zum Jahr 2019 erneut zu.

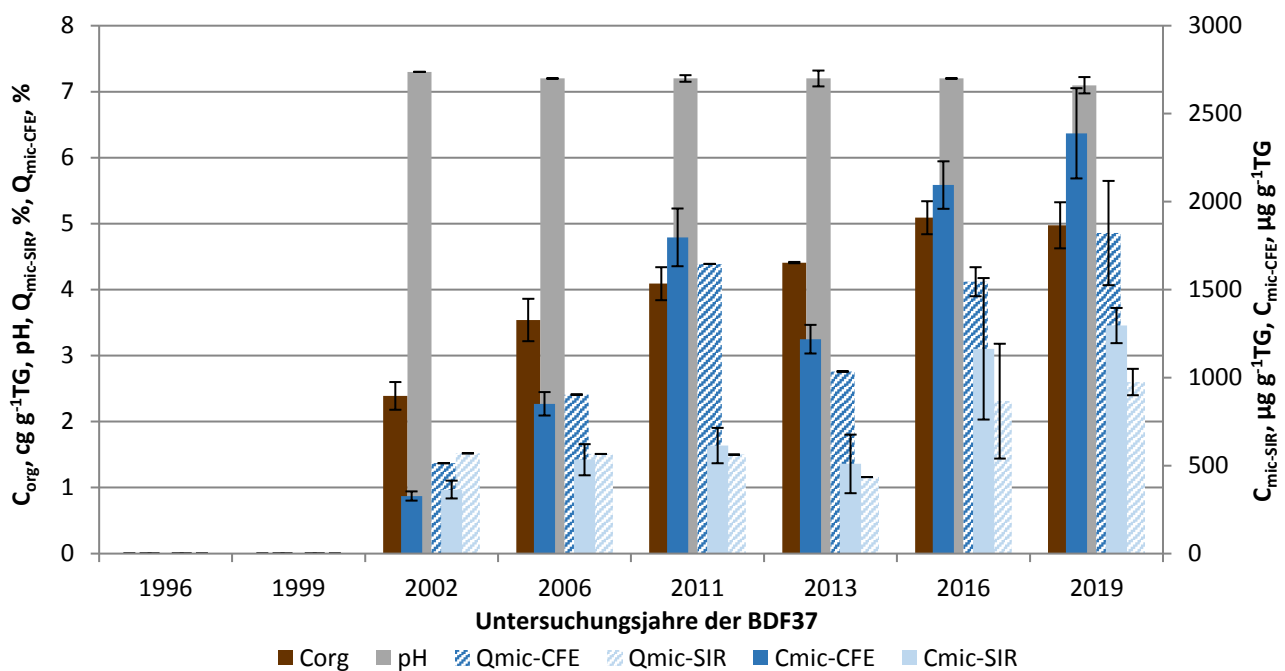


Abbildung 4.24: Ergebnisse der BDF37 der gesamten Untersuchungsjahre des organischen Kohlenstoffgehaltes (C_{org}), des pH-Wertes, der gesamten ($C_{\text{mic-CFE}}$) und der glucoseaktivierten ($C_{\text{mic-SIR}}$) mikrobiellen Biomasse und des Anteils dieser Biomasse am organischen Kohlenstoffgehalt ($Q_{\text{mic-CFE}}$ und $Q_{\text{mic-SIR}}$). Fehlerbalken stellen die Standardabweichung aus vier Einzelergebnissen dar.

Der zeitliche Verlauf der Basalatmung (R_{B-Hein}) ist in der Abbildung 4.25 dargestellt. Erkennbar ist, dass die Basalatmung zwischen den Untersuchungsjahren 2002 und 2006 einen Rückgang um mehr als ein Drittel zeigte dann jedoch zum Jahr 2011 um mehr als das Fünffache auf den bisherigen Höchststand anstieg. Zum Untersuchungsjahr 2013 halbierte sich die Basalatmung und wies zum Jahr 2016 einen erneuten Anstieg auf. Der metabolische Quotient ($Q_{met-CFE}$) folgte der Entwicklung der Basalatmung, zeigte den Höchstwert jedoch im Jahr 2002. Zum Untersuchungsjahr 2019 veränderten sich beide Parameter nicht wesentlich.

Die zeitliche Entwicklung der Argininammonifikation (ARG) zeigt einen beständigen Anstieg der Ammonifikationsraten im Zeitraum der Untersuchungsjahre 2002 bis 2011. Zum Jahr 2013 reduzierte sich die ARG und stieg zum Jahr 2016 erneut auf etwa das Niveau des Jahres 2011 an. Der Anstieg der Argininammonifikation setzte sich zum Jahr 2019 auf den bisherigen Höchststand fort. Der Gehalt des löslichen Stickstoffs (N_{min}) zeigte in den Jahren 2002 und 2006 die höchsten Werte und nahm anschließend zum Jahr 2013 um insgesamt zwei Drittel ab. Zum Untersuchungsjahr 2016 erfolgte eine Zunahme des N_{min} -Gehaltes um etwa 70 %. Anschließend nahm der N_{min} -Gehalt zum Jahr 2019 ab.

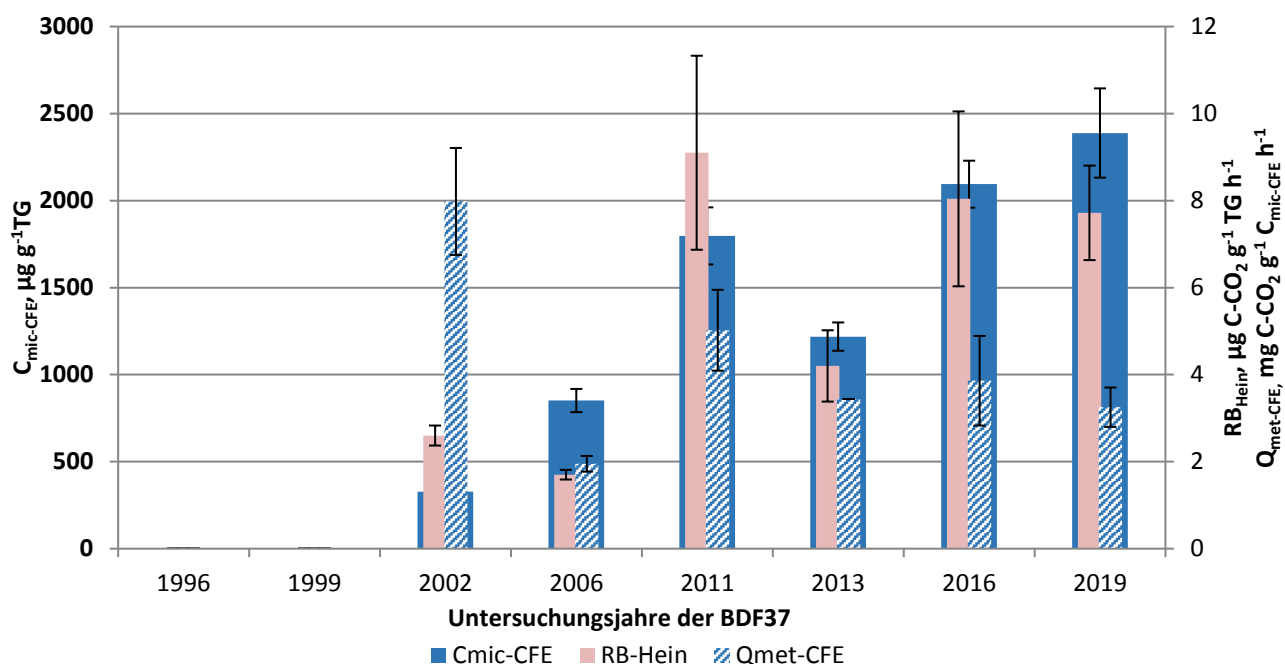


Abbildung 4.25: Ergebnisse der mikrobiellen Aktivität der BDF37 der gesamten Untersuchungsjahre, dargestellt anhand der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$), ihrer Basalatmung (R_{B-Hein}) und der mikrobiellen Aktivität ($Q_{met-CFE}$) bezogen auf das Trockengewicht.

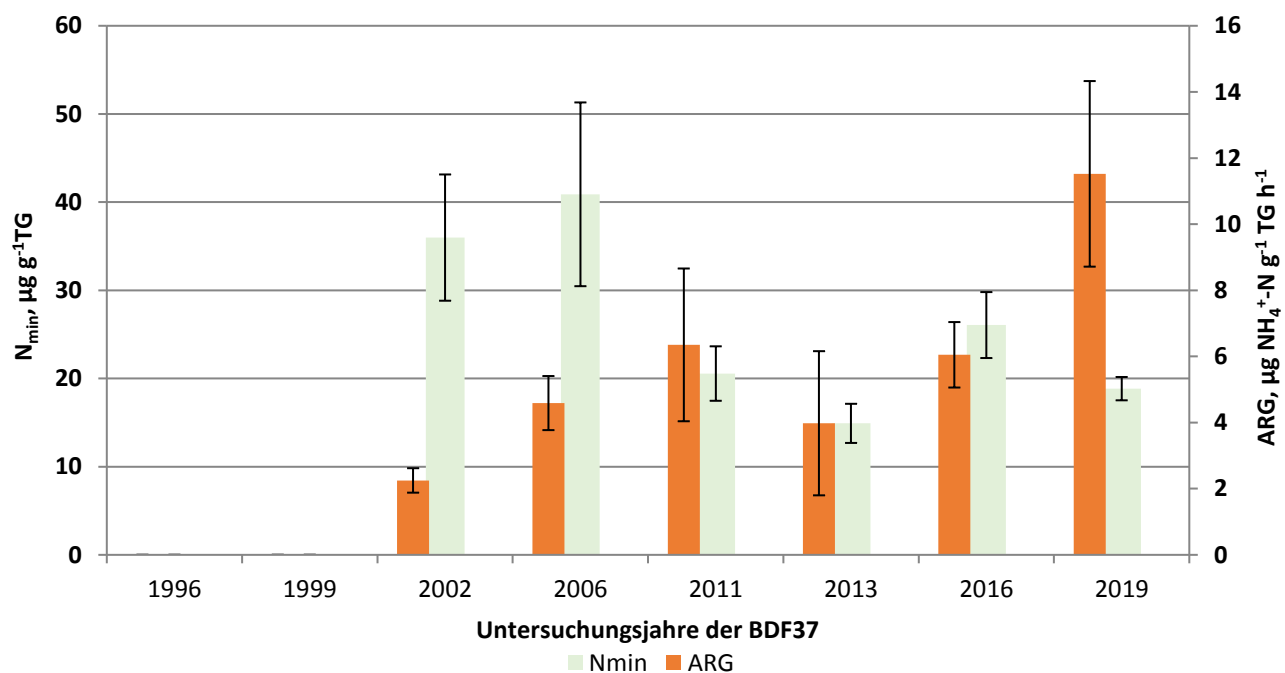


Abbildung 4.26: Darstellung des löslichen Stickstoffs (N_{min}) und der Argininammonifikation (ARG) der gesamten Untersuchungsjahre der BDF37.

Tabelle 4.25: Vergleich von mikrobiologischen und abiotischen Analyseergebnissen aus den sechs Beprobungsjahren der BDF37. Angegeben ist jeweils der Mittelwert aus mindestens drei Parallelen und, wenn berechnet, die Standardabweichung dieses Wertes. Eine genauere Beschreibung der Tabelle ist im Anhang A 7.

Jahr	Boden- horizont Tiefe, cm	$C_{mic-CFE}$	$C_{mic-SIR}$ Hein	$N_{mic-CFE}$	R_{B-Hein}	ARG	$Q_{met-CFE}$ $R_{B-Hein} /$ $C_{mic-CFE}$	$Q_{met-SIR}$ $R_{B-Hein} /$ $C_{mic-SIR}$	N_{min}	C_{org}	N_t	C_{org} / N_t
		$\mu g\ g^{-1} TG$	$\mu g\ g^{-1} TG$	$\mu g\ g^{-1} TG$	$\mu g\ CO_2-C$ $g^{-1} TG\ h^{-1}$	$\mu g\ NH_4^{+}-$ $N\ g^{-1} TG$ h^{-1}	$\mu g\ CO_2-C$ $mg^{-1} C_{mic-}$ $CFE\ h^{-1}$	$\mu g\ CO_2-C$ $mg^{-1} C_{mic-}$ $SIR\ h^{-1}$	$\mu g\ g^{-1} TG$	$cg\ g^{-1} TG$	$cg\ g^{-1} TG$	
2002	zGo-Ah	327 ± 26	364 ± 51	80 ± 6	2,6 $\pm 0,2$	2,3 $\pm 0,4$	8,0 $\pm 1,2$	7,3 $\pm 1,7$	36,0 $\pm 7,2$	2,4 $\pm 0,2$	0,3 $\pm 0,0$	9,2 $\pm 0,5$
2006	zGo-Ah	851 ± 67	534 ± 89	n.b. n.b.	1,7 $\pm 0,1$	4,6 $\pm 0,8$	2,0 $\pm 0,2$	3,2 $\pm 0,4$	40,9 $\pm 10,4$	3,5 $\pm 0,3$	0,3 $\pm 0,0$	11,2 $\pm 0,7$
2011	zGo-Ah bis -10	1797 ± 164	614 ± 100	n.b. n.b.	9,1 $\pm 2,2$	6,4 $\pm 2,3$	5,0 $\pm 0,9$	14,9 $\pm 3,2$	20,6 $\pm 3,1$	4,1 $\pm 0,3$	0,4 $\pm 0,0$	10,5 $\pm 0,1$
2013	zGo-Ah bis -10	1219 ± 81	510 ± 167	108 ± 9	4,2 $\pm 0,8$	4,0 $\pm 2,2$	3,4 $\pm 0,9$	8,2 $\pm 1,3$	14,9 $\pm 2,2$	4,4 $\pm 0,0$	0,4 $\pm 0,0$	10,6 $\pm 0,2$
2016	zGo-Ah bis -10	2094 ± 135	1164 ± 402	180 ± 40	8,0 $\pm 2,0$	6,1 $\pm 1,0$	3,9 $\pm 1,0$	7,1 $\pm 0,8$	26,1 $\pm 3,7$	5,1 $\pm 0,3$	0,5 $\pm 0,0$	10,3 $\pm 0,4$
2019	zGo-Ah bis -10	2388 ± 256	1296 ± 100	290 ± 40	7,7 $\pm 1,1$	11,5 $\pm 2,8$	3,3 $\pm 0,5$	6,0 $\pm 1,1$	18,8 $\pm 1,3$	5,0 $\pm 0,3$	0,5 $\pm 0,0$	11,0 $\pm 0,2$

Fortsetzung: Tabelle 4.25

Jahr	Boden- horizont	$C_{mic-CFE} /$ Fläche	$C_{mic-SIR} /$ Fläche	$N_{mic-CFE} /$ Fläche	$R_{B-Hein} /$ Fläche	ARG / Fläche	$Q_{mic-CFE} /$ $C_{mic-CFE} /$ C_{org}	$Q_{mic-SIR} /$ $C_{mic-SIR} /$ C_{org}	$N_{min} /$ Fläche	$C_{org} /$ Fläche	$N_t /$ Fläche	pH
		$g\ m^{-2}$	$g\ m^{-2}$	$g\ m^{-2}$	$mg\ CO_2-C$ $m^{-2}\ h^{-1}$	$mg\ NH_4^+-$ $N\ m^{-2}\ h^{-1}$	%	%	$kg\ ha^{-1}$	$g\ m^{-2}$	$g\ m^{-2}$	
2002	zGo-Ah	19,4	21,6	4,8	153,8	133,7	1,4	1,5	21,4	1420	155	7,3
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
2006	zGo-Ah	47,7	29,9	n.b.	92,5	256,8	2,4	1,5	22,9	1982	177	7,2
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
2011	zGo-Ah bis -10	103,7	35,4	n.b.	524,0	366,5	4,4	1,5	11,9	2361	225	7,2
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	± 0,1
2013	zGo-Ah bis -10	66,2	27,7	5,9	228,0	216,2	2,8	1,2	8,1	2397	232	7,2
		± 5,1	± 9,1	± 0,5	± 51,6	± 118,5	± 0,2	± 0,3	± 1,4	± 98	± 10	± 0,1
2016	zGo-Ah bis -10	104,3	58,0	9,0	400,7	301,2	4,1	2,3	13,0	2535	245	7,2
		± 6,7	± 20,0	± 2,0	± 100,1	± 49,3	± 0,2	± 0,9	± 1,9	± 125	± 10	± 0,0
2019	zGo-Ah bis -10	124,9	67,8	15,1	403,7	602,6	4,9	2,6	9,9	2602	236	7,1
		± 13,4	± 5,2	± 2,1	± 56,8	± 146,8	± 0,8	± 0,2	± 0,7	± 183	± 11	± 0,1

4.5.4 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zu abiotischen Standortfaktoren

Es zeigen sich statistisch signifikante Korrelationen zwischen dem Gehalt der mikrobiellen Biomasse ($C_{\text{mic-CFE}}$) und dem Gehalt des organischen Kohlenstoffs (C_{org} , $r = 0,910$, $p < 0,05$, $N = 5$) sowie dem Gesamtstickstoffgehalt (N_t , $r = 0,900$, $p < 0,05$, $N = 5$). Höhere Kohlenstoff- und Stickstoffgehalte im Boden führten zu tendenziell höheren Gehalten der mikrobiellen Biomasse. Bei dem metabolischen Quotienten ($Q_{\text{met-CFE}}$) zeigt sich eine negative Korrelation mit dem C_{org}/N_t -Verhältnis ($r = -0,962$, $p < 0,01$, $N = 5$). Somit nahm die Effizienz der Mikroorganismen mit abnehmender Humusqualität signifikant zu. Jedoch ist anzumerken, dass sich die Humusqualität stets im hohen bis sehr hohen Bereich bewegte.

Die abiotischen Standortfaktoren der BDF37 bieten für Bodenmikroorganismen günstige Lebens- und Wachstumsbedingungen, was in der höchsten mikrobiellen Biomasse ($C_{\text{mic-CFE}}$) aller Grünlandstandorte außerhalb der Niedermoores resultiert. Insbesondere die hohe Humusqualität sowie die vergleichsweise sehr geringe Trockenrohdichte des Mineralbodens verbunden mit dem neutralen Boden-pH und der guten Wasserverfügbarkeit fördern die Aktivität der Bodenmikroorganismen. Stoffeinträge durch Überflutungsereignisse sorgen für zusätzliche Düngung. Die Bodenorganismen sind an das salzhaltige Meerwasser angepasst.

4.5.5 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zum Klima und zur Witterung

Aufgrund des hohen Grundwasserstands wirken sich Witterung und Temperatur kaum auf die Bodenfeuchte und auf die Wasserverfügbarkeit aus. Die Bodenorganismen erleiden keinen Wassermangel. Zwischen den zeitlichen Änderungen der Niederschläge und der Veränderungen der bodenmikrobiologischen Parameter bestehen keine signifikanten Korrelationen.

4.5.6 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Bewirtschaftung

Die Fläche wurde der Sukzession überlassen, gelegentlich findet eine extensive Beweidung durch Schafe sowie durch Rehe statt. Quantitative Informationen zur Beweidung liegen nicht vor, es ist jedoch möglich, dass die Weidetiere durch ihre Ausscheidungen zur Düngung der Fläche mit Stickstoffverbindungen maßgeblich beitragen und das Wachstum der Bodenorganismen begünstigen. Nach Brandt (2016) deutet der Rückgang beweidungsempfindlicher Pflanzen (Keilmelde) auf eine Zunahme der Beweidungsintensität seit 2009 hin. Die damit verbundene Düngung könnte die starke Zunahme der mikrobiellen Biomasse zu den Jahren 2011 und 2016 erklären.

4.5.7 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Vegetationskunde

Die vegetationskundlichen Untersuchungen der Jahre 2009 und 2015 ergaben räumlich unterschiedliche Vegetationseinheiten auf der BDF, welche an den Mulden- bzw. Graben- und Rückenstrukturen orientiert sind. Alle Pflanzen sind jedoch an den hohen Salzgehalt angepasst und zeigen im Boden einen hohen Nährstoffgehalt sowie eine hohe Bodenfeuchte und einen hohen pH an (Brandt, 2016). Zum Jahr 2015 nahm im Mittel die Stickstoffzahl entgegen dem mikrobiellen Trend deutlich ab. Aufgrund der starken Zunahme der mikrobiellen Biomasse unter diesen Bedingungen ist auch von einer Anpassung der Mikroorganismen an die Gegebenheiten einer Salzwiese auszugehen.

4.5.8 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Bodenzoologie

Die letzte und insgesamt zweite bodenzoologische Untersuchung erfolgte im Jahr 2015. Es wurden wie im Jahr 2005 keine Regenwürmer, jedoch salztolerante Kleinringelwürmer vorgefunden. Deren Siedlungsdichte nahm in diesem Zehnjahreszeitraum deutlich ab. Die bodenmikrobiologische Aktivität nahm hingegen seit 2002 bis zur Untersuchung 2016 nahezu kontinuierlich zu.

4.6 BDF02 Süderlügum

4.6.1 Situation bei der Probenentnahme

Tabelle 4.26: Temperatur und Niederschlag zum Jahreswechsel 2018/2019 an der BDF02. Monatsdurchschnittstemperatur in °C, Monatsniederschlagssumme in mm.

Jahr	Monat	Monatsdurchschnittstemperatur, °C	Niederschlag, mm/Monat
2018	Oktober	11	48
	November	6,2	35
	Dezember	5	76
2019	Januar	2,2	46
	Februar	4,5	55
	März	6,2	118
Dez. 18 - Feb. 19		3,9	177

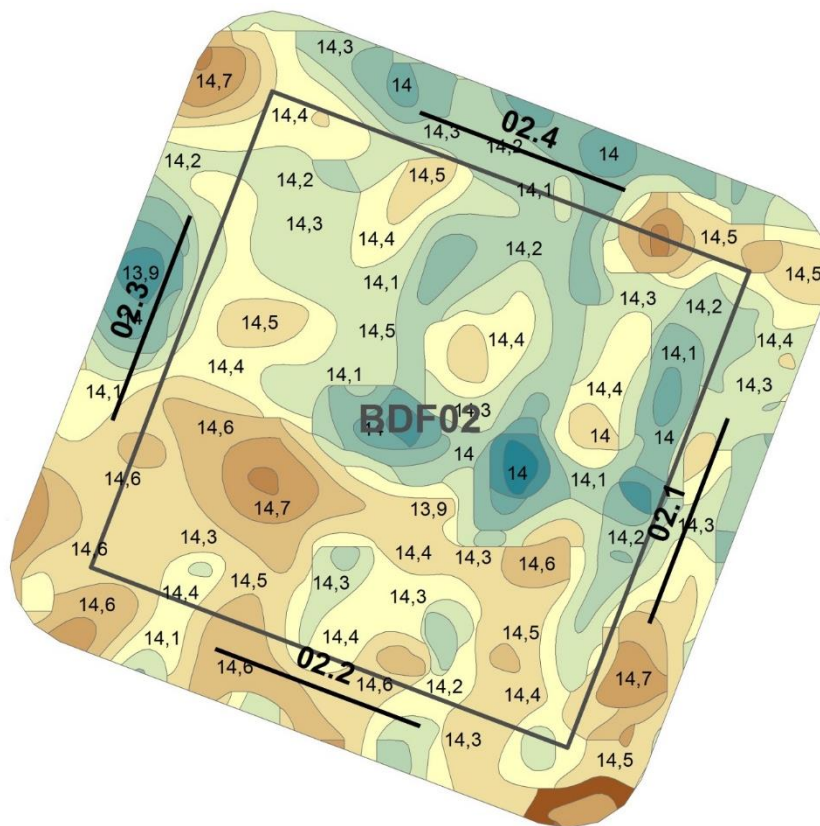


Abbildung 4.27: Lage der Probenentnahmestellen an der BDF02 (02.1-4).

Tabelle 4.27: Bedingungen während der Probenentnahme an der BDF02 (Probenentnahmeprotokoll). Für die Witterungsverhältnisse und die Bodenbeschaffenheit sind die Abkürzungen nach Ad-Hoc-ARBEITSGRUPPE BODEN, 2005, angegeben.

Bearbeiter	Herr Dr. Elsner
Datum	28.02.2019
Beginn	09:15 Uhr
Temp., GOF	5,6°C
Temp., 10cm	5,6°C
Tage ohne Frost	0 Tage
Niederschlag	keine Niederschläge seit 1 Woche
Bodenfeuchte	schwach feucht-feucht, halbfest-steif
Baumbestand, Alter	jung/alt
Baumbestand, Einheitlichkeit	Reinbestand
Kronenschluß	Baumbestand locker/licht
Baumart, dominierend	Tanne
Baumart, begleitend	Fichte
Frühlingsblüher	ja
Bodenvegetation, Zusammensetz.	überwiegend Gräser
Bodenvegetation, Einheitlichkeit	uneinheitlich
Bodenvegetation, Höhe	<25 cm
Bodenvegetation, Deckung	geschlossen, <25% freier Boden
Bewirtschaftungsmaßn.	
Störung des Bodens	
Bemerkung	viel Moos in Krautschicht, Wasser im Rohr: 2,08 m

4.6.2 Analyseergebnisse und Klassifikation

Die BDF02 Süderlügum befindet sich an einem sandigen Standort in einem Nadelwald mit einem Mischbestand von Tanne, Gemeiner Fichte, Gemeiner Kiefer sowie der Eberesche. Die Bodenform ist Podsol aus holozänen Flugsanden. Die abiotischen Analyseergebnisse sind in der Tabelle 4.28, die bodenmikrobiologischen Parameter in der Tabelle 4.29 dargestellt.

Humusauflage

Der Gehalt des organischen Kohlenstoffs (C_{org}) in der Humusauflage (feinhumusarmer rohhumusartiger Moder bis feinhumusreicher rohhumusartiger Moder, 8,7 cm mächtig) liegt leicht über dem Durchschnitt aller Waldhumusauflagen des Jahres 2019. Der Gesamtstickstoffgehalt (N_t) ist annähernd durchschnittlich hoch, so dass sich aus beiden Parametern ein relativ weites C_{org}/N_t -Verhältnis von ca. 26 (sehr niedrige Humusqualität) ergibt, welches von allen Waldstandorten das höchste ist.

Der Gehalt der löslichen Stickstoffverbindungen (N_{\min}) wird für Humusauflagen als niedrig eingestuft, wobei der Ammoniumgehalt als sehr niedrig und der Nitratgehalt als niedrig eingestuft werden. Die Auflage der BDF02 weist einen sehr niedrigen pH-Wert im extrem sauren Bereich auf.

Bei den bodenmikrobiologischen Parametern zeigt die BDF02 einen für Humusauflagen sehr hohen Gehalt mikrobieller Biomasse ($C_{\text{mic-CFE}}$) sowie einen sehr hohen mikrobiellen Quotienten ($Q_{\text{mic-CFE}}$). Der Gehalt des mikrobiellen Stickstoffs ($N_{\text{mic-CFE}}$) ist jedoch gering. Diese Einstufung gilt auch für die Basalatmung ($R_{\text{B-Hein}}$). Die Argininammonifikation (ARG) sowie der metabolische Quotient ($Q_{\text{met-CFE}}$) weisen sehr niedrige Werte auf.

Mineraloberboden

Der Mineraloberboden (Aeh, bis 2,5 cm Tiefe) der BDF02 wird anhand des C_{org} -Gehaltes nach Ad hoc AG-Boden (2005) als schwach humos eingestuft und weist somit den niedrigsten Gehalt des organischen Kohlenstoffs von allen Wald-BDF auf. Auch der Gesamtstickstoffgehalt (N_t) ist der insgesamt niedrigste, so dass sich aus dem C_{org}/N_t -Verhältnis von 19 eine mittlere Einstufung für die Humusqualität ergibt. Der Mineraloberboden der BDF02 ist durch einen für sandige Waldstandorte niedrigen N_{\min} -Gehalt gekennzeichnet, wobei die Ammonium- und Nitratgehalte als sehr niedrig bis niedrig eingestuft werden. Der Boden wird als extrem sauer eingestuft und weist eine niedrige Trockenrohdichte auf.

Der Gehalt der mikrobiellen Biomasse ($C_{\text{mic-CFE}}$) der BDF02 wird für sandige Waldstandorte als mittel hoch eingestuft wobei der mikrobielle Stickstoff ($N_{\text{mic-CFE}}$) sehr niedrig ist. Sowohl die Basalatmung ($R_{\text{B-Hein}}$) als auch die Argininammonifikation (ARG) weisen mittel hohe Raten auf. Der mikrobielle Quotient ($Q_{\text{mic-CFE}}$) ist sehr hoch und weist den höchsten Wert von allen Wald-BDF auf. Der metabolische Quotient ($Q_{\text{met-CFE}}$) ist niedrig.

Tabelle 4.28: Ergebnisse der bodenchemischen Analyse 2019 der BDF02 (Süderlügum). Aufgeführt sind der organische Kohlenstoffgehalt (C_{org}) und der Gesamtstickstoffgehalt (N_t) in $cg\ g^{-1}TG$, sowie das Verhältnis von organischem Kohlenstoff zu Stickstoff im Boden (C_{org} / N_t), der gelöste Stickstoffgehalt (N_{min}) berechnet aus der Summe von Ammonium (NH_4^+-N), Nitrit ($NO_2^- - N$) und Nitrat ($NO_3^- - N$), die Trockenrohdichte in $g\ TG\ cm^{-3}$, der Wassergehalt in $mg\ g^{-1}\ TG$ und der pH gemessen in $CaCl_2$. Die Werte stellen jeweils den Mittelwert aus acht Parallelen dar und sind mit der Standardabweichung angegeben. Farbkodierungen zur Bewertung siehe Anhang Tabelle A 2, A 3, A 4 und A 5.

Boden-horizont	C_{org}	N_t	C_{org} / N_t	N_{min}	$NH_4^+ - N$	$NO_2^- - N$	$NO_3^- - N$
Tiefe, cm	$cg\ g^{-1}\ TG$	$cg\ g^{-1}\ TG$		$\mu g\ g^{-1}\ TG$	$\mu g\ g^{-1}\ TG$	$\mu g\ g^{-1}\ TG$	$\mu g\ g^{-1}\ TG$
Of&Oh bis +8,7 cm	34,8 $\pm 3,2$	1,4 $\pm 0,1$	25,7 $\pm 0,6$	16,2 $\pm 1,8$	15,3 $\pm 1,5$	0,0 $\pm 0,0$	0,8 $\pm 0,3$
Aeh bis -2,5 cm	1,1 $\pm 0,1$	0,1 $\pm 0,0$	19,2 $\pm 0,5$	1,0 $\pm 0,1$	0,9 $\pm 0,1$	0,0 $\pm 0,0$	0,1 $\pm 0,0$

Boden-horizont	$C_{org} / \text{Fläche}$	$N_t / \text{Fläche}$	$N_{min} / \text{Fläche}$	$N_{min} / \text{Fläche}$	Trockenroh-dichte	Wasser-gehalt	pH
Tiefe, cm	$g\ m^{-2}$ Horizonttiefe	$g\ m^{-2}$ Horizonttiefe	$g\ m^{-2}$ Horizonttiefe	$kg\ N\ ha^{-1}$ Horizonttiefe	$g\ TG\ cm^{-3}$	$mg\ g^{-1}\ TG$	
Of&Oh bis +8,7 cm	6080 ± 563	237 ± 22	0,3 $\pm 0,0$	2,8 $\pm 0,3$	0,2 $\pm n.b.$	1211 ± 96	2,5 $\pm 0,0$
Aeh bis -2,5 cm	349 ± 37	18 ± 2	0,0 $\pm 0,0$	0,3 $\pm 0,0$	1,3 $\pm n.b.$	78 ± 3	2,8 $\pm 0,0$

Tabelle 4.29: Ergebnisse der bodenmikrobiologischen Analyse 2019 der BDF02 (Süderlügum). Aufgeführt ist der mikrobielle Kohlenstoffgehalt, gemessen mit der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($C_{mic-CFE}$) und über die Substratinduzierte Atmung (SIR) mit der Heinemeyeraanalyse ($C_{mic-SIR}$), außerdem der mikrobielle Stickstoffgehalt, gemessen mit der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($N_{mic-CFE}$). Angegeben sind weiterhin die mikrobielle Basalatmung, gemessen als CO_2 -Produktionsrate mithilfe der Heinemeyeraanlage (R_{B-Hein}) und die potentielle Ammonifikation nach der Arginin-Ammonifikationsmethode (ARG). Des weiteren sind der metabolische Quotient und der mikrobielle Quotient jeweils aus den Ergebnissen der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($C_{mic-CFE}$) und der Heinemeyeraanlage ($C_{mic-SIR}$) berechnet. Die Werte stellen jeweils den Mittelwert aus acht Parallelen dar und sind mit der Standardabweichung angegeben. Farbkodierungen siehe Anhang A 6. Im unteren Teil der Tabelle sind die verschiedenen Parameter bezogen auf die Fläche angegeben.

Boden-horizont	$C_{mic-CFE}$	$C_{mic-SIR}$	$N_{mic-CFE}$	R_{B-Hein}	ARG	$Q_{mic-CFE}$ $C_{mic-CFE} / C_{org}$	$Q_{mic-SIR}$ $C_{mic-SIR} / C_{org}$
Tiefe, cm	$\mu g\ g^{-1} TG$	$\mu g\ g^{-1} TG$	$\mu g\ g^{-1} TG$	$\mu g\ CO_2-C\ g^{-1} TG\ h^{-1}$	$\mu g\ NH_4^+-N\ g^{-1} TG\ h^{-1}$	%	%
Of&Oh bis +8,7 cm	9395 ± 933	n.b. $\pm n.b.$	105 ± 27	5,2 $\pm 0,6$	< 0,1 $\pm n.b.$	2,7 $\pm 0,2$	n.b. $\pm n.b.$
Aeh bis -2,5 cm	438 ± 33	n.b. $\pm n.b.$	< 5,0 $\pm n.b.$	0,4 $\pm 0,0$	0,4 $\pm 0,1$	4,2 $\pm 0,2$	n.b. $\pm n.b.$

Boden-horizont	$C_{mic-CFE} /$ Fläche	$C_{mic-SIR} /$ Fläche	$N_{mic-CFE} /$ Fläche	$R_{B-Hein} /$ Fläche	ARG / Fläche	$Q_{met-CFE}$ $R_{B-Hein} / C_{mic-CFE}$	$Q_{met-SIR}$ $R_{B-Hein} / C_{mic-SIR}$
Tiefe, cm	$g\ m^{-2}$ Horizonttiefe	$g\ m^{-2}$ Horizonttiefe	$g\ m^{-2}$ Horizonttiefe	$mg\ CO_2-C\ m^{-2}\ h^{-1}$ Horizonttiefe	$mg\ NH_4^+-N\ m^{-2}\ h^{-1}$ Horizonttiefe	$\mu g\ CO_2-C\ mg^{-1}\ C_{mic-CFE}\ h^{-1}$	$\mu g\ CO_2-C\ mg^{-1}\ C_{mic-SIR}\ h^{-1}$
Of&Oh bis +8,7 cm	164 ± 16	n.b. $\pm n.b.$	1,8 $\pm 0,5$	91 ± 10	< 2 $\pm n.b.$	0,6 $\pm 0,0$	n.b. $\pm n.b.$
Aeh bis -2,5 cm	15 ± 1	n.b. $\pm n.b.$	< 0,2 $\pm n.b.$	12 ± 1	13 ± 4	0,9 $\pm 0,0$	n.b. $\pm n.b.$

4.6.3 Zeitreihenvergleich

Humusauflage

Der Gehalt organischen Kohlenstoffs (C_{org}) in der Humusauflage der BDF02 zeigt sich abwechselnde Ab- und Zunahmen zwischen den einzelnen Untersuchungsjahren (Abbildung 4.28). Die jeweils höheren Gehalte entfallen dabei auf die Jahre 1999, 2007 und 2013, wobei der insgesamt höchste C_{org} -Gehalt im Jahr 1999 gemessen wurde. Aus dieser Entwicklung ergeben sich eine Abnahme im C_{org} -Gehalt zwischen den Jahren 2013 und 2016 sowie eine geringfügige Zunahme zum Jahr 2019. Der pH blieb im gesamten Untersuchungszeitraum weitgehend konstant, wobei zum Jahr 2019 eine leichte Absenkung erfolgt ist. Der Gehalt der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$) nahm nach einer Zunahme zwischen den Jahren 1999 und 2002 bis zum Jahr 2011 kontinuierlich ab. Zum Untersuchungsjahr 2013 nahm der $C_{mic-CFE}$ -Gehalt in der Humusauflage stark zu. Diese zunehmende Entwicklung setzte sich auch zum Untersuchungsjahr 2016 fort und erreichte im Jahr 2019 den bisherigen Höchstwert. Der mikrobielle Quotient ($Q_{mic-CFE}$) zeichnet die Trends des $C_{mic-CFE}$ -Gehaltes nach. Der Gehalt der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$) verblieb in den ersten beiden Untersuchungsjahren auf einem Niveau, reduzierte sich zum Jahr 2007 und stieg anschließend auf einen Höchststand zum Jahr 2011. Der mikrobielle Quotient der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{mic-SIR}$) zeichnet die Entwicklung des $C_{mic-SIR}$ -Gehaltes nach.

Die Basalatmung (R_{B-Hein}) in der Humusauflage zeigt im Untersuchungszeitraum eher moderate Schwankungen (Abbildung 4.30). Die höchsten Basalatmungsraten waren im Jahr 2013 zu verzeichnen, zu den Untersuchungsjahren 2016 und 2019 ging die Basalrespiration zurück. Die Veränderungen im metabolischen Quotienten ($Q_{met-CFE}$) waren hingegen stark ausgeprägt. Von einem hohen Wert des Jahres 1999 nahm der $Q_{met-CFE}$ bis zum Jahr 2007 stark ab, stieg dann jedoch zum Jahr 2011 auf den bisherigen Höchstwert sehr stark an. Zu den Jahren 2013 und 2016 reduzierte sich der $Q_{met-CFE}$ erneut deutlich und erreichte im Jahr 2019 den bisher niedrigsten Wert.

Die Argininammonifikation (ARG) entwickelte sich zunächst abnehmend zwischen den Jahren 1999 und 2007 und anschließend zunehmend bis zum Höchstwert des Jahres 2013 (Abbildung 4.32). Zum Jahr 2016 sank die ARG auf etwa das Niveau des Jahres 2011. Im Jahr 2019 war keine Argininammonifikation nachweisbar. Der Gehalt mineralischen Stickstoffs (N_{min}) in der Humusauflage war im Jahr 2002 am höchsten. Es folgten ein sehr starker Rückgang zum Jahr 2007 und eine leichte Zunahme zum Jahr 2013. Zum den Untersuchungsjahren 2016 und 2019 nahm der N_{min} -Gehalt jeweils leicht ab.

Mineraloberboden

Im Mineraloberboden erfuhr der Gehalt organischen Kohlenstoffs (C_{org}) deutliche Änderungen im Verlauf der Untersuchungsjahre (Abbildung 4.29). Zunächst reduzierte sich dieser um nahezu die Hälfte zwischen den Jahren 1996 und 2002 und stieg zum Jahr 2007 auf den bisherigen Höchstwert an. Zum nachfolgenden Untersuchungsjahr 2011 nahm der C_{org} -Gehalt erneut deutlich ab und stieg zu den Jahren 2013, 2016 und 2019 nur geringfügig an. Der Boden-pH stieg zwischen den Jahren 1996 und 2002 zunächst um 0,7 Einheiten auf seinen Höchstwert an. Es folgte zum Untersuchungsjahr 2007 eine leichte Abnahme des pH, welcher bis zum Jahr 2013 annähernd konstant blieb. In den nachfolgenden Untersuchungsjahren 2016 und 2019 erfolgte eine Abnahme des pH.

Der Gehalt der mikrobiellen Biomasse ($C_{\text{mic-CFE}}$) zeigte seinen Spitzenwert im Jahr der Erstuntersuchung 1996. Der $C_{\text{mic-CFE}}$ -Gehalt reduzierte sich um über 90 % zum Jahr 1999. Seit diesem Untersuchungsjahr stieg der Gehalt der mikrobiellen Biomasse langsam aber nahezu beständig an, zwischen 2013 und 2016 wurde eine deutlich höhere Zuwachsrate erreicht. Zum Jahr 2019 nahm die mikrobielle Biomasse erneut deutlich zu und erreichte den zweithöchsten Wert. Im Gesamtbild weist auch der mikrobielle Quotient ($Q_{\text{mic-CFE}}$) diese Entwicklung auf. Der Gehalt der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{\text{mic-SIR}}$) zeigte abwechselnd jeweils zu- und abnehmende Trends zwischen den Jahren 1999, 2002, 2007 und 2011 mit dem Höchstwert im Jahr 2002. Selbiges gilt für den mikrobiellen Quotienten der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{\text{mic-SIR}}$).

Die Basalatmung ($R_{\text{B-Hein}}$) zeigte zwischen 1999 und 2011 sehr geringe Werte (Abbildung 4.31). Zum Jahr 2013 stieg die Basalatmung auf ihren Höchstwert an, nahm zu den darauffolgenden Untersuchungsjahren 2016 und 2019 jedoch deutlich ab. Der metabolische Quotient ($Q_{\text{met-CFE}}$) im Mineraloberboden zeigte zwischen den Untersuchungsjahren 2002 und 2016 abwechselnd starke Zu- und Abnahmen. Die Spitzenwerte entfallen dabei auf die Jahre 2007 und 2013. Zum Jahr 2016 nahm der metabolische Quotient stark ab und erreichte damit den bisher niedrigsten Wert. Es folgte eine geringfügige Zunahme zum Jahr 2019.

Auch die Argininammonifikation (ARG) zeigte bei der Erstuntersuchung 1996 ihren bisher höchsten Wert (Abbildung 4.33). Es folgte ein starker Rückgang zum Jahr 2002. Zum Untersuchungsjahr 2007 stieg die ARG erneut an und entwickelte sich leicht schwankend bis zum Jahr 2016. Zum Jahr 2019 zeigte sich keine Veränderung der Argininammonifikation. Ähnlich verlief auch die Entwicklung des Gehalts mineralischen Stickstoffs (N_{min}), welcher einen Höchstwert im Jahr 1996 aufwies. Nach dem starken Rückgang des N_{min} -Gehaltes zum Jahr 1999 folgte eine deutliche Zunahme zum Jahr 2002. Anschließend reduzierte sich der N_{min} -Gehalt kontinuierlich bis zu einem sehr niedrigen Wert im Jahr 2016. Zum Jahr 2019 nahm der N_{min} -Gehalt nur geringfügig zu.

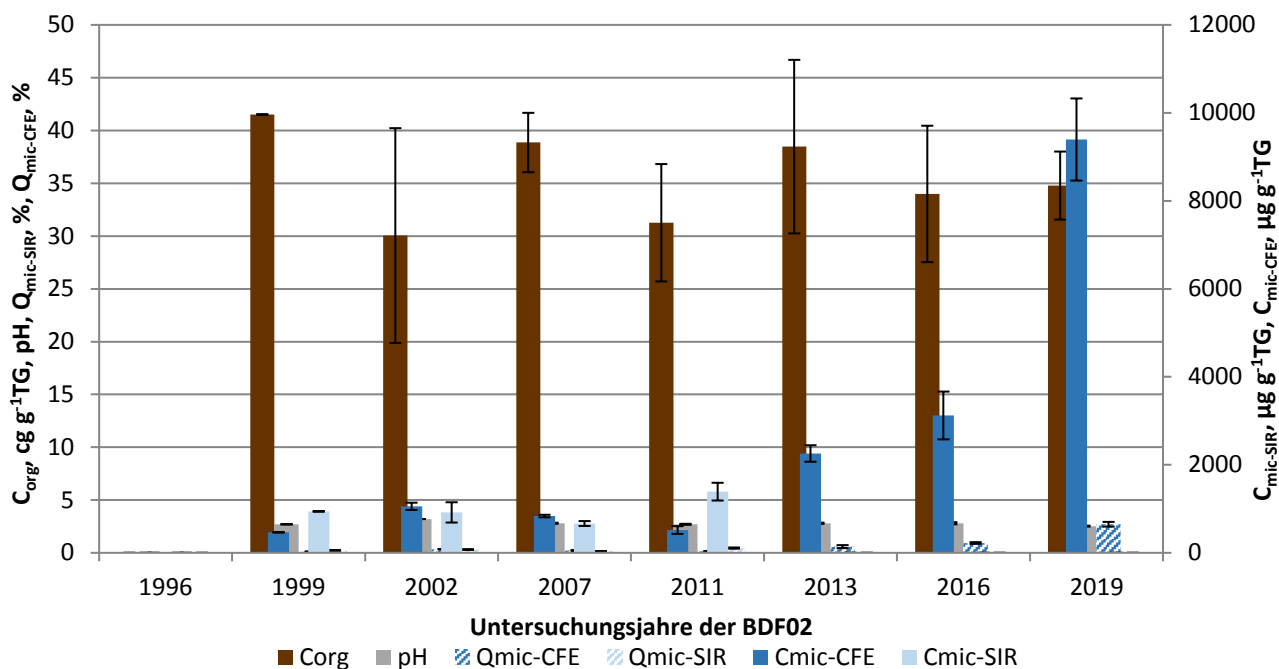


Abbildung 4.28: Ergebnisse der BDF02 (organische Auflage) der gesamten Untersuchungsjahre des organischen Kohlenstoffgehaltes (C_{org}), des pH-Wertes, der gesamten ($C_{mic-CFE}$) und der glucoseaktivierten ($C_{mic-SIR}$) mikrobiellen Biomasse und des Anteils dieser Biomasse am organischen Kohlenstoffgehalt ($Q_{mic-CFE}$ und $Q_{mic-SIR}$). Fehlerbalken stellen die Standardabweichung aus vier Einzelergebnissen dar.

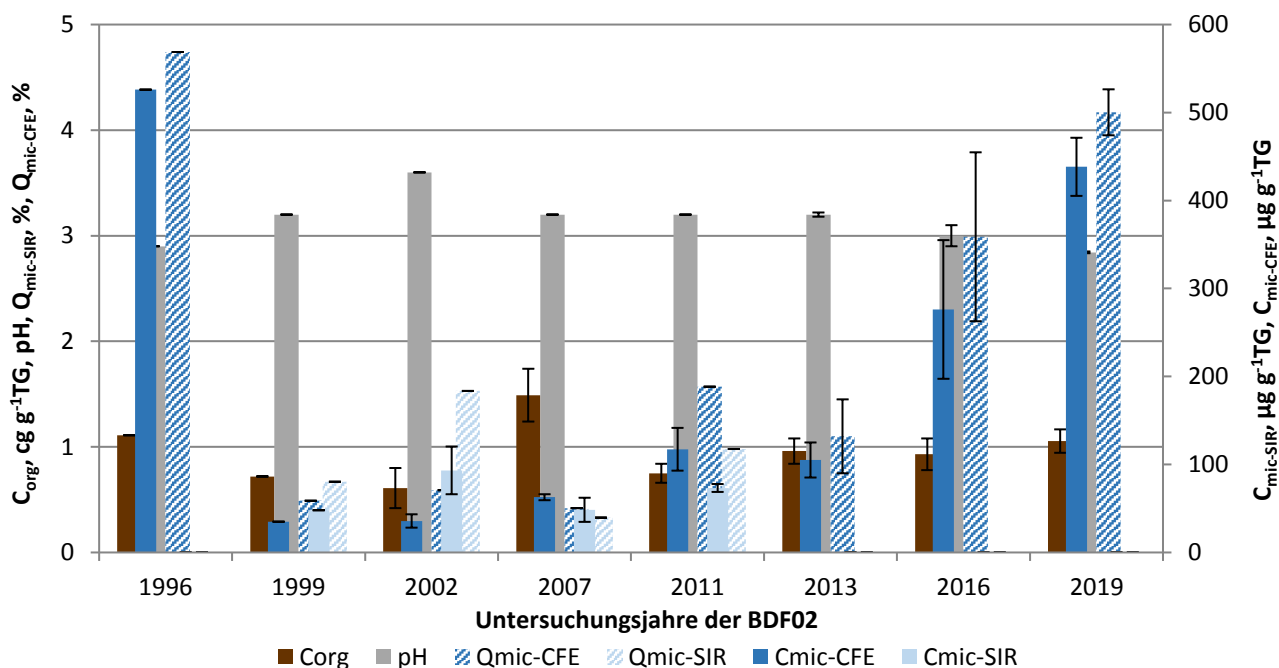


Abbildung 4.29: Ergebnisse der BDF02 (Mineraloberboden) der gesamten Untersuchungsjahre des organischen Kohlenstoffgehaltes (C_{org}), des pH-Wertes, der gesamten ($C_{mic-CFE}$) und der glucoseaktivierten ($C_{mic-SIR}$) mikrobiellen Biomasse und des Anteils dieser Biomasse am organischen Kohlenstoffgehalt ($Q_{mic-CFE}$ und $Q_{mic-SIR}$). Fehlerbalken stellen die Standardabweichung aus vier Einzelergebnissen dar.

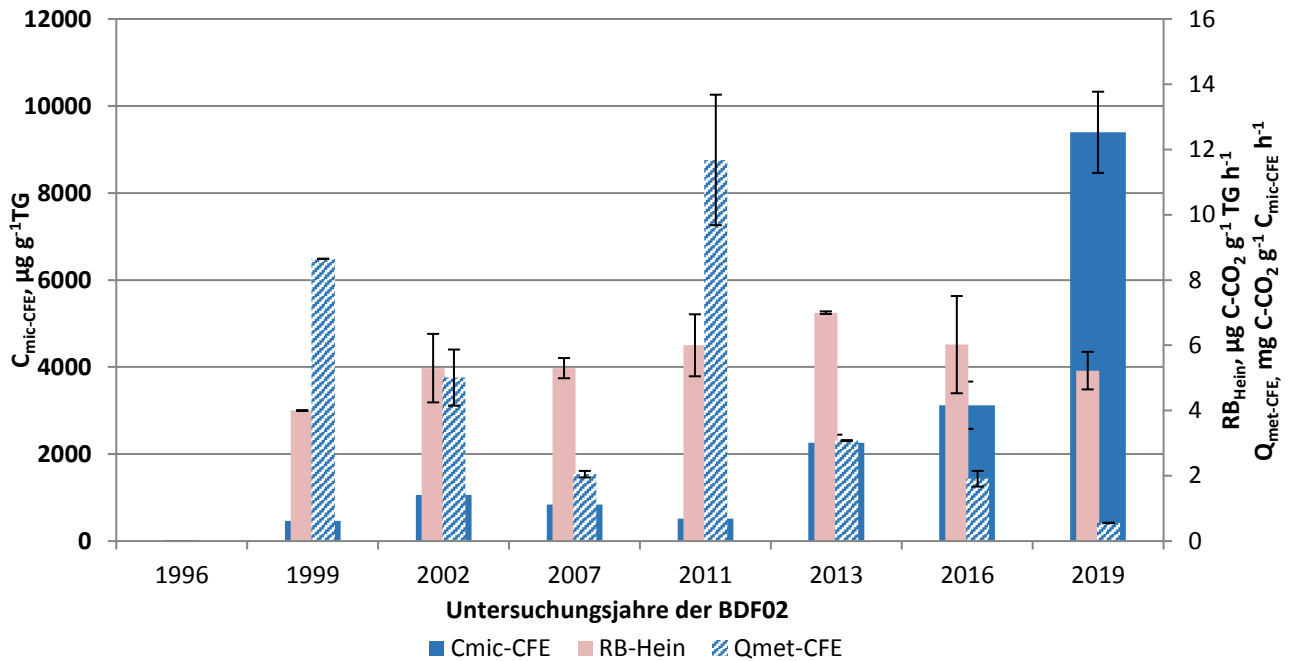


Abbildung 4.30: Ergebnisse der mikrobiellen Aktivität der BDF02 (organische Auflage) der gesamten Untersuchungsjahre, dargestellt anhand der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$), ihrer Basalatmung (R_{B-Hein}) und der mikrobiellen Aktivität ($Q_{met-CFE}$) bezogen auf das Trockengewicht.

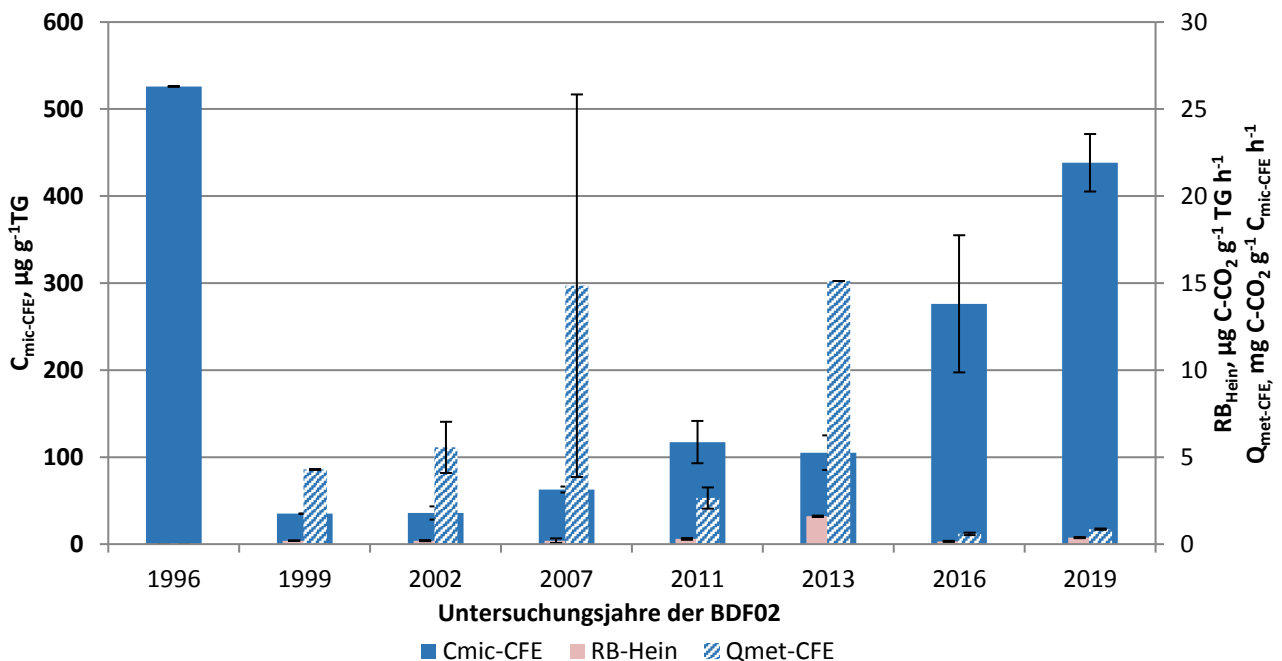


Abbildung 4.31: Ergebnisse der mikrobiellen Aktivität der BDF02 (Mineraloberboden) der gesamten Untersuchungsjahre, dargestellt anhand der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$), ihrer Basalatmung (R_{B-Hein}) und der mikrobiellen Aktivität ($Q_{met-CFE}$) bezogen auf das Trockengewicht.

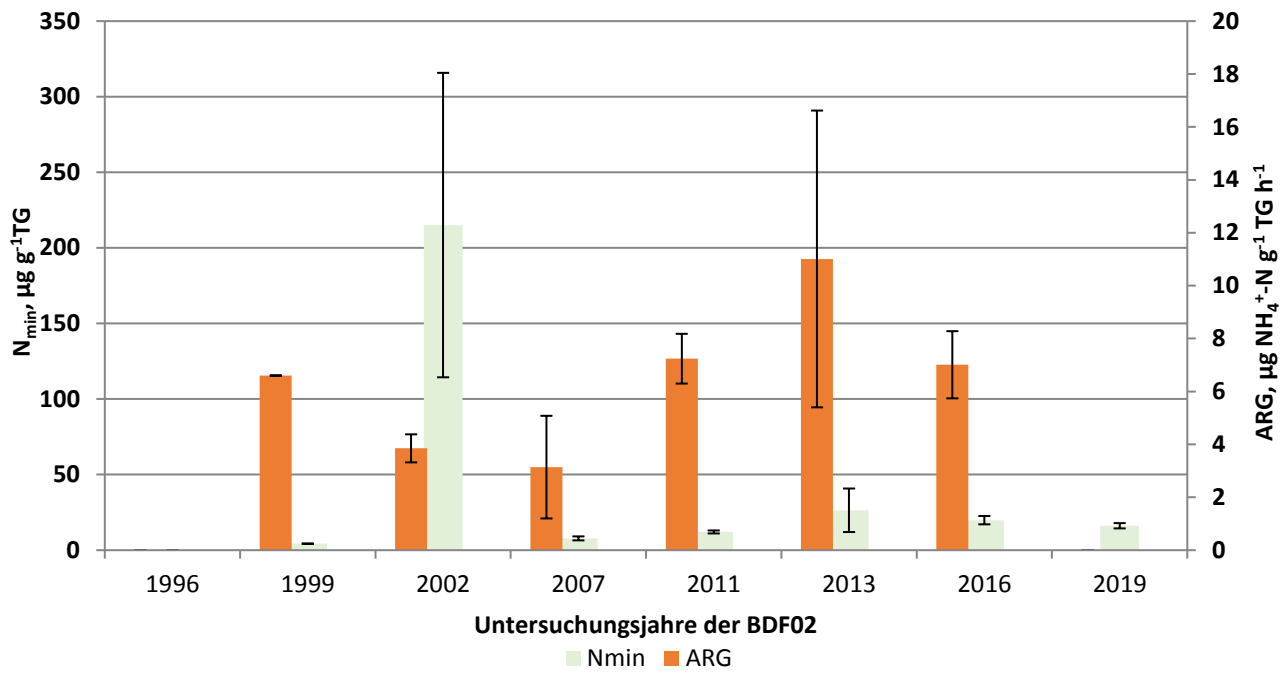


Abbildung 4.32: Darstellung des löslichen Stickstoffs (N_{min}) und der Argininammonifikation (ARG) der gesamten Untersuchungsjahre der BDF02 (organische Auflage).

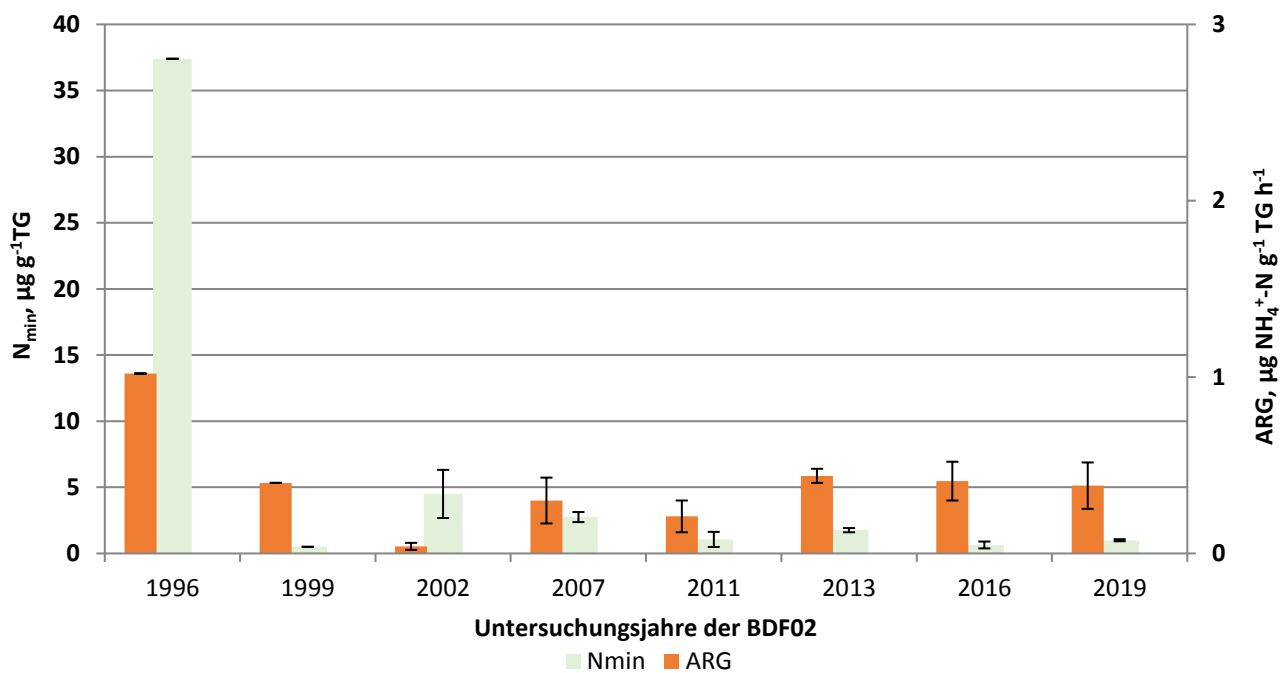


Abbildung 4.33: Darstellung des löslichen Stickstoffs (N_{min}) und der Argininammonifikation (ARG) der gesamten Untersuchungsjahre der BDF02 (Mineraloberboden).

Tabelle 4.30: Vergleich von mikrobiologischen und abiotischen Analyseergebnissen aus den acht Beprobungsjahren der BDF02. Angegeben ist jeweils der Mittelwert aus mindestens drei Parallelen und, wenn berechnet, die Standardabweichung dieses Wertes. Eine genauere Beschreibung der Tabelle ist im Anhang A 7.

Jahr	Boden- horizont	C _{mic} -CFE	C _{mic} -SIR Hein	N _{mic} -CFE	R _B -Hein	ARG	Q _{met} -CFE R _B -Hein / C _{mic} -CFE	Q _{met} -SIR R _B -Hein / C _{mic} -SIR	N _{min}	C _{org}	N _t	C _{org} / N _t
	Tiefe, cm	µg g ⁻¹ TG	µg g ⁻¹ TG	µg g ⁻¹ TG	µg CO ₂ -C g ⁻¹ TG h ⁻¹	µg NH ₄ ⁺ - N g ⁻¹ TG h ⁻¹	µg CO ₂ -C mg ⁻¹ C _{mic} - CFE h ⁻¹	µg CO ₂ -C mg ⁻¹ C _{mic} - SIR h ⁻¹	µg g ⁻¹ TG	cg g ⁻¹ TG	cg g ⁻¹ TG	
1996	Aeh bis -3 cm	526 n.b.	n.b. n.b.	31 n.b.	n.b. n.b.	1,0 n.b.	n.b. n.b.	n.b. n.b.	37,4 n.b.	1,1 n.b.	0,0 n.b.	28,5 n.b.
1999	O bis +1 cm	466 n.b.	942 n.b.	146 n.b.	4,0 n.b.	6,6 n.b.	8,7 n.b.	4,3 n.b.	4,3 n.b.	41,5 n.b.	1,7 n.b.	24,8 n.b.
1999	Aeh bis -3 cm	35 n.b.	48 n.b.	6 n.b.	0,2 n.b.	0,4 n.b.	4,3 n.b.	3,1 n.b.	0,5 n.b.	0,7 n.b.	0,0 n.b.	23,2 n.b.
2002	O bis +1 cm	1057 ± 83	919 ± 231	158 ± 3	5,3 ± 1,1	3,9 ± 0,5	5,0 ± 0,9	5,9 ± 1,2	215,1 ± 100,7	30,1 ± 10,2	1,1 ± 0,3	28,3 ± 3,4
2002	Aeh bis -3 cm	36 ± 8	93 ± 27	9 n.b.	0,2 ± 0,0	0,0 ± 0,0	5,6 ± 1,5	2,2 ± 0,5	4,5 ± 1,8	0,6 ± 0,2	0,0 ± 0,0	31,2 ± 15,2
2007	O bis +1 cm	836 ± 29	666 ± 56	n.b. n.b.	5,3 ± 0,3	3,1 ± 1,9	2,1 ± 0,1	2,6 ± 0,3	7,8 ± 1,3	38,9 ± 2,8	2,7 ± 0,3	14,7 ± 0,6
2007	Aeh bis -3 cm	63 ± 3	49 ± 14	n.b. n.b.	0,2 ± 0,1	0,3 ± 0,1	14,9 ± 11,0	17,6 ± 7,7	2,8 ± 0,4	1,5 ± 0,3	0,1 ± 0,0	18,0 ± 4,0
2011	O bis +1 cm	519 ± 88	1391 ± 202	n.b. n.b.	6,0 ± 1,0	7,2 ± 0,9	11,7 ± 2,0	4,3 ± 0,4	12,1 ± 1,0	31,3 ± 5,6	1,3 ± 0,2	24,4 ± 0,8
2011	Aeh bis -3 cm	117 ± 24	73 ± 5	n.b. n.b.	0,3 ± 0,1	0,2 ± 0,1	2,7 ± 0,6	4,1 ± 0,6	1,1 ± 0,6	0,8 ± 0,1	0,0 ± 0,0	23,1 ± 1,9
2013	O bis +1 cm	2258 ± 188	n.b. n.b.	97 ± 13	7,0 ± 0,0	11,0 ± 5,6	3,1 ± 0,6	n.b. n.b.	26,4 ± 14,4	38,5 ± 8,2	1,6 ± 0,0	24,6 ± 1,8
2013	Aeh bis -3 cm	105 ± 20	n.b. n.b.	5 ± 1	1,6 ± 0,0	0,4 ± 0,0	15,1 ± 1,2	n.b. n.b.	1,8 ± 0,2	1,0 ± 0,1	0,1 ± 0,0	16,6 ± 1,2
2016	O bis +8,7 cm	3122 ± 543	n.b. n.b.	57 ± 11	6,0 ± 1,5	7,0 ± 1,3	1,9 ± 0,2	n.b. n.b.	19,9 ± 2,8	34,0 ± 6,5	1,4 ± 0,2	24,7 ± 0,6
2016	Aeh bis -3,4 cm	276 ± 79	n.b. n.b.	5 ± 1	0,2 ± 0,0	0,4 ± 0,1	0,6 ± 0,1	n.b. n.b.	0,6 ± 0,3	0,9 ± 0,2	0,1 ± 0,0	17,3 ± 1,5
2019	O bis +8,7 cm	9395 ± 933	n.b. n.b.	105 ± 27	5,2 ± 0,6	< 0,1 n.b.	0,6 ± 0,0	n.b. n.b.	16,2 ± 1,8	34,8 ± 3,2	1,4 ± 0,1	25,7 ± 0,6
2019	Aeh bis -2,5 cm	438 ± 33	n.b. n.b.	< 5 n.b.	0,4 ± 0,0	0,4 ± 0,1	0,9 ± 0,0	n.b. n.b.	1,0 ± 0,1	1,1 ± 0,1	0,1 ± 0,0	19,2 ± 0,5

Fortsetzung: Tabelle 4.30

Jahr	Boden- horizont	C _{mic} -CFE / Fläche	C _{mic} -SIR / Fläche	N _{mic} -CFE / Fläche	R _B -Hein / Fläche	ARG / Fläche	Q _{mic} -CFE C _{mic} -CFE / C _{org}	Q _{mic} -SIR C _{mic} -SIR / C _{org}	N _{min} / Fläche	C _{org} / Fläche	N _t / Fläche	pH
	Tiefe, cm	g m ⁻²	g m ⁻²	g m ⁻²	mg CO ₂ -C m ⁻² h ⁻¹	mg NH ₄ ⁺ N m ⁻² h ⁻¹	%	%	kg ha ⁻¹	g m ⁻²	g m ⁻²	
1996	Aeh bis -3 cm	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	4,7	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	2,9
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
1999	O bis +1 cm	3,7	7,5	1,2	32,2	52,8	0,1	0,2	0,3	n.b.	n.b.	2,7
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
1999	Aeh bis -3 cm	2,4	3,3	0,4	10,3	27,4	0,5	0,7	0,3	n.b.	n.b.	3,2
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
2002	O bis +1 cm	8,9	7,7	1,3	44,5	32,3	0,4	0,3	18,1	2524	88	3,2
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
2002	Aeh bis -3 cm	2,5	6,5	0,7	13,5	2,7	0,6	1,5	3,2	427	16	3,6
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
2007	O bis +1 cm	5,7	4,5	n.b.	35,7	21,3	0,2	0,2	0,5	2642	181	2,8
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	± 0,1
2007	Aeh bis -3 cm	4,2	3,2	n.b.	13,6	20,1	0,4	0,3	1,8	990	57	3,2
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
2011	O bis +1 cm	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,2	0,5	n.b.	n.b.	n.b.	2,7
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	± 0,0	± 0,1	n.b.	n.b.	n.b.	± 0,1
2011	Aeh bis -3 cm	4,1	2,6	n.b.	10,7	7,5	1,6	1,0	0,4	264	12	3,2
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
2013	O bis +1 cm	24,6	n.b.	1,1	75,9	123,4	0,6	n.b.	2,8	4218	170	2,8
		± 4,4	n.b.	± 0,2	± 21,4	± 68,9	± 0,1	n.b.	± 1,6	± 1339	± 45	± 0,1
2013	Aehz bis -3 cm	4,2	n.b.	0,2	63,4	17,5	1,1	n.b.	0,7	380	24	3,2
		± 0,9	n.b.	± 0,0	± 7,6	± 1,6	± 0,1	n.b.	± 0,1	± 56	± 3	± 0,0
2016	O bis +8,7 cm	48,1	n.b.	0,9	92,9	108,1	0,9	n.b.	3,1	5240	211	2,8
		± 8,4	n.b.	± 0,2	± 23,0	± 19,6	± 0,1	n.b.	± 0,4	± 996	± 38	± 0,1
2016	Aeh bis -3,4 cm	13,2	n.b.	0,2	7,7	19,6	3,0	n.b.	0,3	444	26	3,0
		± 3,8	n.b.	± 0,1	± 1,4	± 5,3	± 0,8	n.b.	± 0,1	± 72	± 5	± 0,1
2019	O bis +8,7 cm	164,2	n.b.	1,8	91,3	< 1,8	2,7	n.b.	2,8	6080	237	2,5
		± 16,3	n.b.	± 0,5	± 10,1	n.b.	± 0,2	n.b.	± 0,3	± 563	± 22	± 0,0
2019	Aeh bis -2,5 cm	14,5	n.b.	< 0,2	12,5	12,7	4,2	n.b.	0,3	349	18	2,8
		± 1,1	n.b.	n.b.	± 1,1	± 4,4	± 0,2	n.b.	± 0,0	± 37	± 2	± 0,0

4.6.4 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zu abiotischen Standortfaktoren

Die Beziehungen der Bodenmikrobiologie zu den abiotischen Standortfaktoren zeigen sich anhand signifikanter Korrelationen. Die Gehalte der löslichen Stickstoffverbindungen (N_{\min}) korrelieren dabei mit der mikrobiellen Biomasse ($C_{\text{mic-CFE}}$, $r = 0,859$, $p < 0,05$, $N = 7$), dem mikrobiellen Quotienten ($Q_{\text{mic-CFE}}$, $r = 0,797$, $p < 0,05$, $N = 7$), dem mikrobiellen Stickstoff ($N_{\text{mic-CFE}}$, $r = 0,996$, $p < 0,01$, $N = 5$) sowie mit der Argininammonifikation (ARG, $r = 0,848$, $p < 0,05$, $N = 7$). D.h. die mikrobielle Biomasse und der N_{mic} -Gehalt steigt mit Zunahme der verfügbaren löslichen N-Verbindungen verbunden mit zunehmender N-Mineralisationsaktivität.

Der pH zeigt Korrelationen mit der mikrobiellen Biomasse ($C_{\text{mic-CFE}}$, $r = -0,773$, $p < 0,05$, $N = 7$), dem mikrobiellen Quotienten ($Q_{\text{mic-CFE}}$, $r = -0,760$, $p < 0,05$, $N = 7$) sowie ebenfalls mit der Argininammonifikation (ARG, $r = -0,824$, $p < 0,05$, $N = 7$). Höhere Biomassen und Argininammonifikationsaktivität tritt somit bei niedrigerem pH-Wert auf.

Weiterhin korreliert der metabolische Quotient der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{\text{met-SIR}}$) mit dem organischen Kohlenstoff (C_{org} , $r = 0,998$, $p < 0,01$, $N = 4$) und mit dem Gesamtstickstoffgehalt (N_t , $r = 0,997$, $p < 0,01$, $N = 4$). Der mikrobielle Quotient der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{\text{mic-SIR}}$) korreliert zudem mit dem C_{org}/N_t -Verhältnis ($r = 0,966$, $p < 0,05$, $N = 4$).

Daraus folgt, dass höhere N_{\min} -Gehalte und niedrigere pH-Werte tendenziell mit höheren bodenmikrobiologischen Aktivitäten einhergingen. Die Effizienz der Mikroorganismen war hingegen bei zunehmenden C_{org} -, N_t - und N_{\min} -Gehalten eher geringer.

Für die Humusaufgabe zeigen sich zwei signifikante Zusammenhänge. Der Gehalt der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{\text{mic-SIR}}$) zeigt eine Korrelation mit der bodenkundlichen Feuchtestufe ($r = -0,954$, $p < 0,05$, $N = 4$). Trockenere Bedingungen im Boden gingen somit mit höheren $C_{\text{mic-SIR}}$ -Gehalten in der Humusaufgabe einher, was die Wechselwirkungen zwischen dem Mineralboden und dem darauf liegenden Humus verdeutlicht. Zudem korreliert der metabolische Quotient der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{\text{met-SIR}}$) mit dem C_{org}/N_t -Verhältnis ($r = 0,958$, $p < 0,05$, $N = 4$). Mit höherer Humusqualität stieg somit auch die Effizienz der glucoseverwertenden Mikroorganismen in der Humusaufgabe.

4.6.5 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zum Klima und zur Witterung

Statistisch signifikante Zusammenhänge zwischen der Bodenmikrobiologie des Mineralbodens und dem Klima bestehen nicht. Es ist jedoch möglich, dass der starke Anstieg der mikrobiellen Biomasse zum Jahr 2016 auf die klimatischen Gegebenheiten des Vorjahres zurückzuführen ist, welches im Vergleich zu den davorliegenden Jahren deutlich ausgeglichener ausgefallen ist. Die Temperatur- und Niederschlagsunterschiede zwischen dem Sommer- und Winterhalbjahr waren 2015 deutlich geringer als zuvor.

Für die Humusaufgabe bestehen zwei signifikante Zusammenhänge zum Klima. Dabei korreliert die Argininammonifikation (ARG) mit den Niederschlägen der jeweils vergangenen Hauptvegetationsperioden ($r = 0,825$, $p < 0,05$, $N = 6$). Somit hatten feuchtere Sommermonate höhere Ammonifikationsraten im Folgejahr zur Folge. Die Vorjahrestemperaturen korrelieren negativ mit dem metabolischen Quotienten ($Q_{\text{met-CFE}}$). Daraus folgt, dass die Effizienz der Mikroorganismen in der Humusaufgabe bei wärmeren Vorjahren tendenziell höher war.

4.6.6 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Bewirtschaftung

Die Bewirtschaftung des Waldes erfolgte bis zum Jahr 2007 durch die Entnahme von Bäumen in Kleingruppen bzw. einzelstammweise. Dies kann zu einer Erhöhung der Bodentemperatur durch stärkere Sonneneinstrahlung sowie zu einer Absenkung des Grundwasserstandes durch verringerten Sog führen. Für das Wachstum der Bodenmikroorganismen kann dies je nach Stärke der Veränderungen auch positive Effekte haben.

4.6.7 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Vegetationskunde

Die Vegetation, bestehend aus vorwiegend Tannen, Fichten, Kiefern und Eschen sowie aus Drahtschmielen und Pfeifengras in der Krautschicht, liefert eine stickstoffarme und relativ schwer zersetzbare Streu. Dies spiegelt sich im C_{org}/N_t -Verhältnis, welches das weiteste von allen untersuchten Humusauflagen ist, sowie in dem niedrigsten N_{min} -Gehalt wider.

Der lichte Baumbestand erhöht die Einstrahlung der Sonne, die Humusauflage wirkt zusätzlich isolierend, was insgesamt zu einem wärmeren Bodenklima und zu einer höheren mikrobiellen Aktivität führt. Jedoch trägt die chemische Streuqualität dazu bei, dass die Bedingungen für das Wachstum der mikrobiellen Biomasse an diesem Standort eher ungünstig sind. Die Drahtschmiele führt ebenso zu einer besseren Durchlüftung.

4.6.8 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Bodenzoologie

Aufgrund fehlender endogäischer und anecischer Regenwürmer findet eine Einarbeitung der Streu in den Mineraloberboden nicht statt. Dies führt dazu, dass der organische Kohlenstoff im Mineralboden sowohl quantitativ als auch qualitativ das Wachstum der Bodenmikroorganismen limitiert. Bei der Betrachtung der Abundanz der epigäischen Regenwürmer zeigt sich, dass diese zwischen den Jahren 1998 und 2018 sehr stark abgenommen hat, während die mikrobielle Biomasse in der Humusauflage zwischen 1999 und 2019 sehr stark zugenommen hat. Auch die Abundanz der Kleiningelwürmer reduzierte sich stark zum Jahr 2012, blieb zum Jahr 2018 jedoch konstant.

4.7 BDF07 Pobüller Bauernholz

4.7.1 Situation bei der Probenentnahme

Tabelle 4.31: Temperatur und Niederschlag zum Jahreswechsel 2018/2019 an der BDF07. Monatsdurchschnittstemperatur in °C, Monatsniederschlagssumme in mm.

Jahr	Monat	Monatsdurchschnitts- temperatur, °C	Niederschlag, mm/Monat
2018	Oktober	11,2	54
	November	6,2	28
	Dezember	5	90
2019	Januar	2,2	46
	Februar	4,7	51
	März	6,3	126
Dez. 18 - Feb. 19		4	187

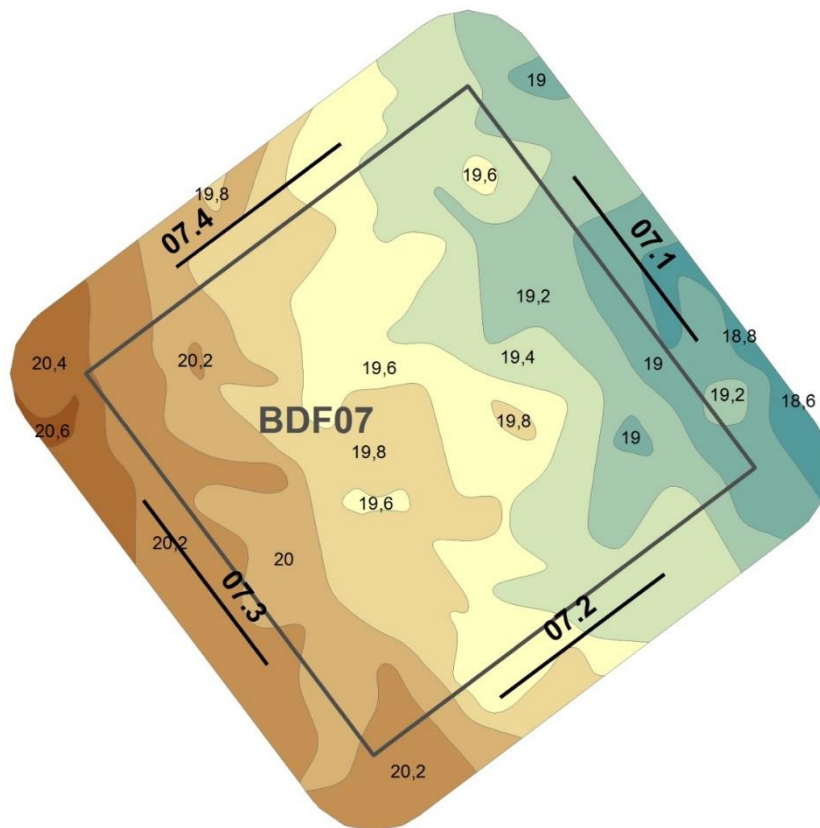


Abbildung 4.34: Lage der Probenentnahmestellen an der BDF07 (07.1-4).

Tabelle 4.32: Bedingungen während der Probenentnahme an der BDF07 (Probenentnahmeprotokoll). Für die Witterungsverhältnisse und die Bodenbeschaffenheit sind die Abkürzungen nach Ad-Hoc-ARBEITSGRUPPE BODEN, 2005, angegeben.

Bearbeiter	Herr Dr. Elsner
Datum	06.03.2019
Beginn	
Temp., GOF	5,0°C
Temp., 10cm	5,9°C
Tage ohne Frost	6 Tage
Niederschlag	mäß. Niederschläge seit 24 Std.
Bodenfeuchte	schwach feucht-feucht, halbfest-steif
Baumbestand, Alter	alt
Baumbestand, Einheitlichkeit	Reinbestand
Kronenschluß	Baumbestand locker/licht
Baumart, dominierend	Eiche
Baumart, begleitend	Buche
Frühlingsblüher	
Bodenvegetation, Zusammensetz.	überwiegend Gräser
Bodenvegetation, Einheitlichkeit	uneinheitlich
Bodenvegetation, Höhe	10-25 cm
Bodenvegetation, Deckung	geschlossen, <25% freier Boden
Bewirtschaftungsmaßn.	
Störung des Bodens	
Bemerkung	von Streu bedeckt, Wasser im Rohr1: 0,23 m, Rohr2: 0,32 m

4.7.2 Analyseergebnisse und Klassifikation

Die BDF07 Pobüller Bauernholz befindet sich an einem Altmoränen-Standort in einem Laubwald mit Buchen- Eichenbäumen und Pfeifengrasvegetation. Die Bodenform ist Pseudogley-Podsol aus pleistozänen Sandersanden. Die abiotischen Analyseergebnisse sind in der Tabelle 4.33, die bodenmikrobiologischen Parameter in der Tabelle 4.34 dargestellt.

Humusauflage

Die Humusauflage (Feuchtrohhumus, 17 cm mächtig) der BDF07 weist die höchsten Gehalte organischen Kohlenstoffs (C_{org}) im Vergleich aller im Jahr 2019 untersuchten Waldhumusauflagen auf. In gleicher Weise gilt dies auch für den Gesamtstickstoffgehalt (N_t). Das C_{org}/N_t -Verhältnis weist auf eine geringe Humusqualität hin, wobei der Of-Horizont ein deutlich engeres C_{org}/N_t -Verhältnis aufweist als der Oh-Horizont. Die löslichen Stickstoffverbindungen (N_{min}) weisen mittel hohe bis geringe

Konzentrationen auf, welche im Of-Horizont etwa drei Mal so hoch sind wie im Oh-Horizont. In beiden Horizonten setzt sich der N_{\min} -Gehalt nahezu vollständig aus Ammonium zusammen. Die pH-Werte beider Horizonte sind annähernd gleich hoch und liegen im extrem sauren Bereich.

Die mikrobiologische Aktivität in der Humusaufgabe der BDF07 zählt zu den höchsten im Wald-Vergleich, es zeigen sich jedoch deutliche Unterschiede zwischen den beiden getrennt untersuchten Horizonten Of und Oh. Der Gehalt der mikrobiellen Biomasse ($C_{\text{mic-CFE}}$) wird für Humusaufgaben als sehr hoch eingestuft, wobei der Of-Horizont eine etwa doppelt so hohe mikrobielle Biomasse aufweist wie der Oh-Horizont. Ein ähnliches Verhältnis zeigt sich ebenso bei dem mikrobiellen Stickstoff ($N_{\text{mic-CFE}}$) mit mittel hohen und niedrigen Gehalten. Die Basalatmungsrate ($R_{\text{B-Hein}}$) ist mittel hoch im Of-Horizont und sehr niedrig im Oh-Horizont. Bei der Argininammonifikation (ARG) zeigen sich zwischen den Horizonten keine Unterschiede sowie eine Einstufung im mittel hohen Bereich. Die mikrobiellen Quotienten ($Q_{\text{mic-CFE}}$) sind sehr hoch, während die metabolischen Quotienten ($Q_{\text{met-CFE}}$) niedrig bis sehr niedrig sind. Bei beiden Parametern zeigt der Of-Horizont den jeweils höheren Wert.

Mineraloberboden

Der Mineraloberboden (Aeh, bis 3 cm Tiefe) der BDF07 besitzt einen überdurchschnittlich hohen Gehalt organischen Kohlenstoffs (C_{org}) und wird nach Ad hoc AG-Boden (2005) als stark humos eingestuft. Der Gesamtstickstoffgehalt (N_t) liegt dagegen unter dem Durchschnitt, so dass sich aus beiden Parametern mit ca. 35 das weiteste C_{org}/N_t -Verhältnis aller Waldflächen ergibt, welches zu einer sehr geringen Humusqualität führt. Der Gehalt der löslichen Stickstoffverbindungen (N_{\min}) ist für sandige Waldflächen niedrig und setzt sich vollständig aus Ammonium zusammen. Der Boden-pH-Wert liegt mit im extrem sauren Bereich. Die Trockenrohdichte ist mittel hoch. Bei den bodenmikrobiologischen Parametern weist der Gehalt der mikrobiellen Biomasse ($C_{\text{mic-CFE}}$) einen für sandige Waldstandorte sehr hohen Wert auf. Der Gehalt des mikrobiellen Stickstoffs ($N_{\text{mic-CFE}}$) liegt hingegen im niedrigen Bereich. Mittel hohe Aktivitäten zeigen sich bei der Basalatmung ($R_{\text{B-Hein}}$) und bei der Argininammonifikation (ARG). Der mikrobielle Quotient ($Q_{\text{mic-CFE}}$) ist hoch, der metabolische Quotient ($Q_{\text{met-CFE}}$) dagegen niedrig.

Tabelle 4.33: Ergebnisse der bodenchemischen Analyse 2019 der BDF07 (Pobüller Bauernholz). Aufgeführt sind der organische Kohlenstoffgehalt (C_{org}) und der Gesamtstickstoffgehalt (N_t) in $cg\ g^{-1}TG$, sowie das Verhältnis von organischem Kohlenstoff zu Stickstoff im Boden (C_{org} / N_t), der gelöste Stickstoffgehalt (N_{min}) berechnet aus der Summe von Ammonium (NH_4^+-N), Nitrit ($NO_2^- - N$) und Nitrat ($NO_3^- - N$), die Trockenrohdichte in $g\ TG\ cm^{-3}$, der Wassergehalt in $mg\ g^{-1}\ TG$ und der pH gemessen in $CaCl_2$. Die Werte stellen jeweils den Mittelwert aus acht Parallelen dar und sind mit der Standardabweichung angegeben. Farbkodierungen zur Bewertung siehe Anhang Tabelle A 2, A 3, A 4 und A 5.

Boden-horizont	C_{org}	N_t	C_{org} / N_t	N_{min}	NH_4^+-N	$NO_2^- - N$	$NO_3^- - N$
Tiefe, cm	$cg\ g^{-1}\ TG$	$cg\ g^{-1}\ TG$		$\mu g\ g^{-1}\ TG$	$\mu g\ g^{-1}\ TG$	$\mu g\ g^{-1}\ TG$	$\mu g\ g^{-1}\ TG$
Of bis +17 cm	48,4 ± 3,0	2,3 ± 0,2	20,9 ± 0,5	28,0 ± 6,6	27,8 ± 6,4	0,0 ± 0,0	0,2 ± 0,2
Oh bis +11,1 cm	35,2 ± 10,7	1,5 ± 0,4	24,1 ± 0,8	8,4 ± 2,6	8,3 ± 2,6	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,1
Aeh bis -3 cm	4,0 ± 0,5	0,1 ± 0,0	35,3 ± 7,1	1,2 ± 0,1	1,2 ± 0,1	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,1

Boden-horizont	$C_{org} / \text{Fläche}$	$N_t / \text{Fläche}$	$N_{min} / \text{Fläche}$	$N_{min} / \text{Fläche}$	Trockenroh-dichte	Wasser-gehalt	pH
Tiefe, cm	$g\ m^{-2}$ Horizonttiefe	$g\ m^{-2}$ Horizonttiefe	$g\ m^{-2}$ Horizonttiefe	$kg\ N\ ha^{-1}$ Horizonttiefe	$g\ TG\ cm^{-3}$	$mg\ g^{-1}\ TG$	
Of bis +17 cm	5035 ± 316	241 ± 16	0,3 ± 0,1	2,9 ± 0,7	0,2 ± n.b.	3139 ± 626	2,9 ± 0,1
Oh bis +11,1 cm	10047 ± 3050	415 ± 118	0,2 ± 0,1	2,4 ± 0,7	0,3 ± n.b.	1903 ± 505	2,9 ± 0,0
Aeh bis -3 cm	1687 ± 200	49 ± 4	0,1 ± 0,0	0,5 ± 0,0	1,4 ± n.b.	350 ± 37	3,1 ± 0,0

Tabelle 4.34: Ergebnisse der bodenmikrobiologischen Analyse 2019 der BDF07 (Pobüller Bauernholz). Aufgeführt ist der mikrobielle Kohlenstoffgehalt, gemessen mit der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($C_{mic-CFE}$) und über die Substratinduzierte Atmung (SIR) mit der Heinemeyeranalyse ($C_{mic-SIR}$), außerdem der mikrobielle Stickstoffgehalt, gemessen mit der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($N_{mic-CFE}$). Angegeben sind weiterhin die mikrobielle Basalatmung, gemessen als CO_2 -Produktionsrate mithilfe der Heinemeyeranlage (R_{B-Hein}) und die potentielle Ammonifikation nach der Arginin-Ammonifikationsmethode (ARG). Des weiteren sind der metabolische Quotient und der mikrobielle Quotient jeweils aus den Ergebnissen der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($C_{mic-CFE}$) und der Heinemeyeranlage ($C_{mic-SIR}$) berechnet. Die Werte stellen jeweils den Mittelwert aus acht Parallelen dar und sind mit der Standardabweichung angegeben. Farbkodierungen siehe Anhang A 6. Im unteren Teil der Tabelle sind die verschiedenen Parameter bezogen auf die Fläche angegeben.

Boden-horizont	$C_{mic-CFE}$	$C_{mic-SIR}$	$N_{mic-CFE}$	R_{B-Hein}	ARG	$Q_{mic-CFE}$ $C_{mic-CFE} / C_{org}$	$Q_{mic-SIR}$ $C_{mic-SIR} / C_{org}$
Tiefe, cm	$\mu g\ g^{-1} TG$	$\mu g\ g^{-1} TG$	$\mu g\ g^{-1} TG$	$\mu g\ CO_2-C\ g^{-1} TG\ h^{-1}$	$\mu g\ NH_4^+-N\ g^{-1} TG\ h^{-1}$	%	%
Of bis +17 cm	12965 ± 680	n.b. $\pm n.b.$	279 ± 34	10,1 $\pm 1,3$	7,2 $\pm 4,6$	2,7 $\pm 0,1$	n.b. $\pm n.b.$
Oh bis +11,1 cm	6339 ± 1733	n.b. $\pm n.b.$	125 ± 34	3,0 $\pm 0,4$	7,6 $\pm 1,3$	2,0 $\pm 0,7$	n.b. $\pm n.b.$
Aeh bis -3 cm	891 ± 32	n.b. $\pm n.b.$	6 ± 3	0,5 $\pm 0,3$	0,4 $\pm 0,3$	2,3 $\pm 0,3$	n.b. $\pm n.b.$

Boden-horizont	$C_{mic-CFE} /$ Fläche	$C_{mic-SIR} /$ Fläche	$N_{mic-CFE} /$ Fläche	$R_{B-Hein} /$ Fläche	ARG / Fläche	$Q_{met-CFE}$ $R_{B-Hein} / C_{mic-CFE}$	$Q_{met-SIR}$ $R_{B-Hein} / C_{mic-SIR}$
Tiefe, cm	$g\ m^{-2}$ Horizonttiefe	$g\ m^{-2}$ Horizonttiefe	$g\ m^{-2}$ Horizonttiefe	$mg\ CO_2-C\ m^{-2}\ h^{-1}$ Horizonttiefe	$mg\ NH_4^+-N\ m^{-2}\ h^{-1}$ Horizonttiefe	$\mu g\ CO_2-C\ mg^{-1}\ C_{mic-CFE}\ h^{-1}$	$\mu g\ CO_2-C\ mg^{-1}\ C_{mic-SIR}\ h^{-1}$
Of bis +17 cm	135 ± 7	n.b. $\pm n.b.$	2,9 $\pm 0,4$	105 ± 14	75 ± 48	0,8 $\pm 0,1$	n.b. $\pm n.b.$
Oh bis +11,1 cm	181 ± 50	n.b. $\pm n.b.$	3,6 $\pm 1,0$	85 ± 11	217 ± 36	0,5 $\pm 0,1$	n.b. $\pm n.b.$
Aeh bis -3 cm	38 ± 1	n.b. $\pm n.b.$	0,3 $\pm 0,1$	23 ± 12	4 ± 11	0,6 $\pm 0,3$	n.b. $\pm n.b.$

4.7.3 Zeitreihenvergleich

Humusaufgabe

In der Humusaufgabe der BDF07 blieb der Gehalt des organischen Kohlenstoffs (C_{org}) im Zeitraum der Jahre 1999 bis 2011, in denen die untersten 6 cm des Oh-Horizontes beprobt wurden, mit leichten Schwankungen relativ konstant (Abbildung 4.35). In den Jahren 2013, 2016 und 2019 wurde dagegen die gesamte organische Auflage von ca. 18 cm getrennt nach Of und Oh beprobt und die Gehalte in Abbildung 4.35 als Mittelwerte dargestellt. Der C_{org} -Gehalt der gesamten organischen Auflage war insbesondere 2013 höher als in den Jahren zuvor. In den Jahren 2016 und 2019 zeigten die C_{org} -Gehalte leicht niedrigere Werte als im Jahr 2013. Der pH blieb im gesamten Untersuchungszeitraum annähernd konstant. Der Gehalt der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$) stieg im Verlauf der Untersuchungsjahre nahezu kontinuierlich auf den höchsten Stand im Jahr 2019. In den Jahren, in denen die gesamte organische Auflage beprobt wurde, wurden deutlich höhere Werte gemessen. Dieses entspricht den Ergebnissen, dass die mikrobielle Biomasse innerhalb der organischen Auflage von oben nach unten deutlich abnimmt (Tabelle 4.33). Dies resultierte auch in einem Anstieg des mikrobiellen Quotienten ($Q_{mic-CFE}$) im Zeitraum 2011 bis 2019. Der Gehalt der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$) reduzierte sich im Zeitraum der Untersuchungsjahre 1999 bis 2007. Zum Jahr 2011 ereignete sich, aufgrund der Änderung der Beprobung der organischen Auflage, ebenso ein starker Anstieg im $C_{mic-SIR}$ -Gehalt. Diese Entwicklung ist auch, bei dem mikrobiellen Quotienten der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{mic-SIR}$) zu beobachten.

Die Basalatmung (R_{B-Hein}) in der Humusaufgabe blieb im Zeitraum der ersten drei Untersuchungsjahre weitgehend konstant (Abbildung 4.37). Die weitere Entwicklung war durch eine deutliche Zunahme, durch eine Abnahme sowie eine durch eine erneute Zunahme auf einen Höchstwert im Jahr 2016 gekennzeichnet. Zum darauffolgenden Untersuchungsjahr 2019 erfolgte jedoch eine deutliche Abnahme der Basalatmung. Die Zunahme der mikrobiellen Biomasse durch Änderung der Beprobungstiefe in der Humusaufgabe hat somit 2013 im Gegensatz zu 2016 keine Zunahme der Atmungsaktivität zur Folge. Der metabolische Quotient ($Q_{met-CFE}$) nahm zwischen den Jahren 1999 und 2007 zunächst kontinuierlich ab. Zum Jahr 2011 erfolgte ein sehr starker Anstieg auf den bisherigen Höchstwert. Anschließend nahm der $Q_{met-CFE}$ stark ab und zeigte eine kontinuierliche Abnahme zum Jahr 2019.

Der Gehalt mineralischen Stickstoffs (N_{min}) nahm zwischen den Jahren 1996 und 2007 kontinuierlich ab (Abbildung 4.39). Es folgte eine starke Zunahme zum Jahr 2011 sowie ein weiterer Rückgang und ein erneuter Anstieg zum Jahr 2016. Die Argininammonifikation (ARG) zeigte nahezu durchgehend eine schwankende Entwicklung mit abwechselnden Zu- und Abnahmen. Zum Jahr 2016 nahm die ARG analog zum N_{min} -Gehalt stark zu. Zum Untersuchungsjahr 2019 nahmen beide Parameter deutlich ab.

Mineraloberboden

Im Mineraloberboden der BDF07 änderte sich der Gehalt des organischen Kohlenstoffs (C_{org}) trotz gleichbleibender Beprobungstiefe deutlich im Laufe der Untersuchungsjahre (Abbildung 4.36). Zwischen den Jahren 1999 und 2002 stieg der C_{org} -Gehalt zunächst leicht an, verdreifachte sich dann jedoch zum Jahr 2007. Zum darauffolgenden Untersuchungsjahr 2011 halbierte sich der C_{org} -Gehalt und verblieb auf diesem Stand bis zum Jahr 2019. Der Boden-pH schwankte nur leicht im gesamten

Untersuchungszeitraum, überwiegend mit sich abwechselnden Zu- und Abnahmen. Zwischen den Jahren 2016 und 2019 stieg der pH-Wert um 0,2 Einheiten.

Bei dem Gehalt der mikrobiellen Biomasse ($C_{\text{mic-CFE}}$) erfolgte zunächst eine beständige Zunahme zwischen den Jahren 1999 und 2011. Zum Jahr 2013 ging der $C_{\text{mic-CFE}}$ -Gehalt leicht zurück, verdoppelte sich jedoch dann zum Jahr 2016. Zum Untersuchungsjahr 2019 erfolgte eine deutliche Abnahme der mikrobiellen Biomasse. Im Wesentlichen trifft diese Entwicklung auch auf den mikrobiellen Quotienten ($Q_{\text{mic-CFE}}$) zu, mit Ausnahme des Jahres 2007, in dem der stark erhöhte C_{org} -Gehalt den mikrobiellen Quotienten reduzierte. Der Gehalt der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{\text{mic-SIR}}$) wurde zwischen den Jahren 1999 und 2011 untersucht und zeigte in diesem Zeitraum sich abwechselnde Zu- und Abnahmen. Der mikrobielle Quotient der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{\text{mic-SIR}}$) nahm zwischen den Jahren 1999 und 2007 beständig ab und verdoppelte sich zum Untersuchungsjahr 2011.

Die Basalatmung ($R_{\text{B-Hein}}$) im Mineraloberboden bewegte sich im Verlauf der Untersuchungsjahre auf einem niedrigen Niveau mit abwechselnden Zu- und Abnahmen (Abbildung 4.38). Die höchsten Werte entfallen dabei auf die Jahre 2002 und 2011. Zwischen den Jahren 2013 und 2016 verdreifachte sich die Basalatmung, blieb jedoch deutlich unter den Werten der zuvor genannten Jahre. Der metabolische Quotient ($Q_{\text{met-CFE}}$) erfuhr zunächst einen deutlichen Anstieg zwischen 1999 und 2002 auf den bisherigen Höchstwert und nahm anschließend bis zum Jahr 2013 beständig ab. Zum Untersuchungsjahr 2016 zeigte sich lediglich ein geringfügiger Anstieg des metabolischen Quotienten. Sowohl die Basalatmung als auch der metabolische Quotient blieben zum Untersuchungsjahr 2019 nahezu unverändert.

Der Gehalt des Mineralischen Stickstoffs (N_{min}) stieg zwischen den Jahren 1999 und 2002 zunächst auf seinen Höchstwert an (Abbildung 4.40). Zum darauffolgenden Untersuchungsjahr 2007 reduzierte sich der N_{min} -Gehalt um etwa drei Viertel und nahm bis zum Jahr 2016 weiter ab. Die Argininammonifikation (ARG) entwickelte sich analog zum N_{min} -Gehalt und zeigte im Jahr 2016, im Gegensatz zur organischen Auflage, den bisher niedrigsten Wert. Zum Jahr 2019 nahm der N_{min} -Gehalt weiter ab, während die Argininammonifikation einen deutlichen Anstieg verzeichnete.

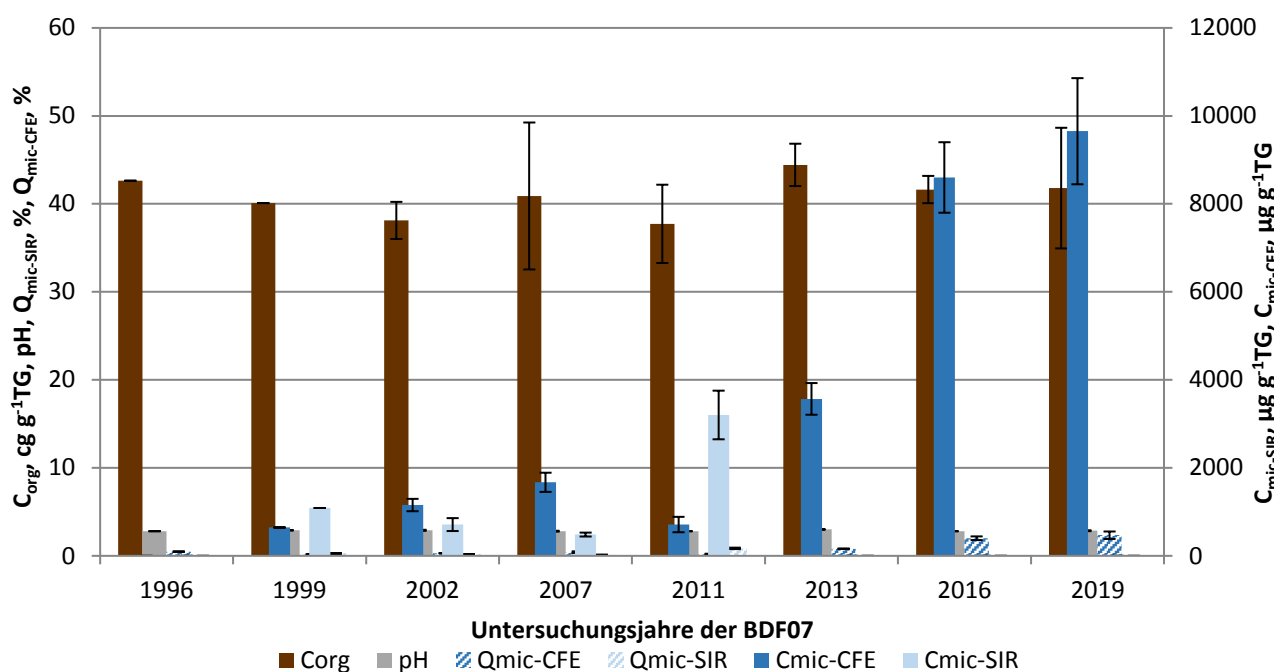


Abbildung 4.35: Ergebnisse der BDF07 (organische Auflage) der gesamten Untersuchungsjahre des organischen Kohlenstoffgehaltes (C_{org}), des pH-Wertes, der gesamten ($C_{mic-CFE}$) und der glucoseaktivierten ($C_{mic-SIR}$) mikrobiellen Biomasse und des Anteils dieser Biomasse am organischen Kohlenstoffgehalt ($Q_{mic-CFE}$ und $Q_{mic-SIR}$). Fehlerbalken stellen die Standardabweichung aus vier Einzelergebnissen dar. Für die Jahre 2016 und 2019 wurde ein Mittelwert aus Of und Oh gebildet und dargestellt.

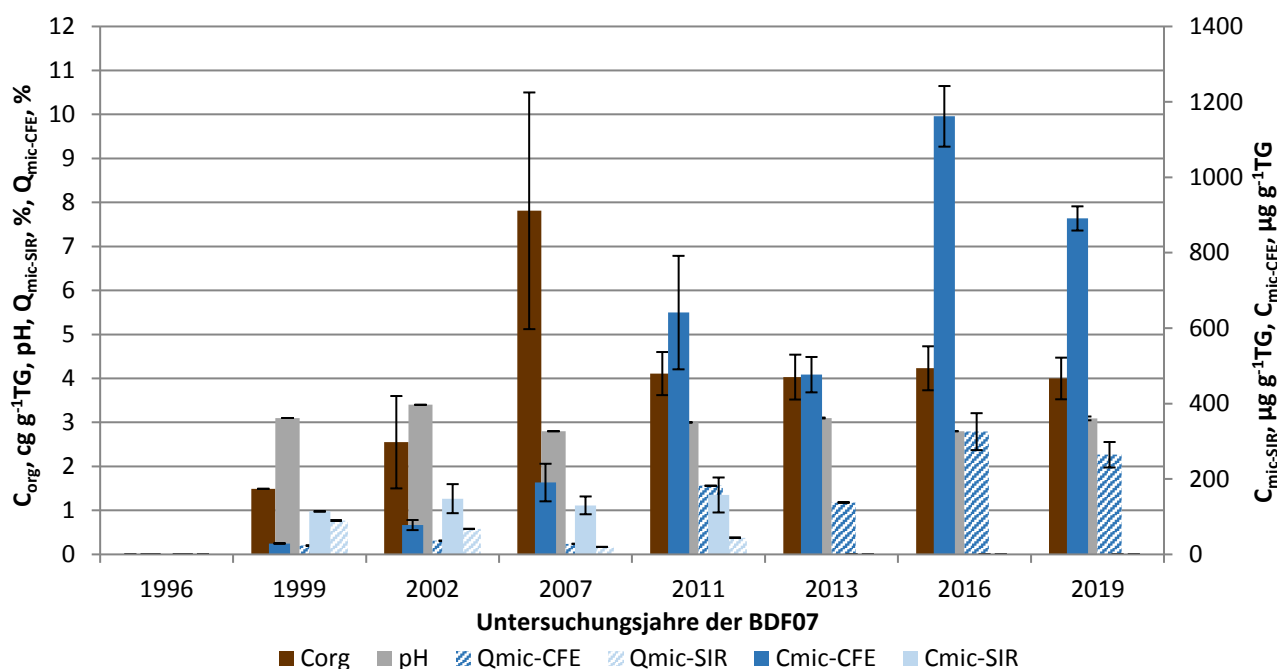


Abbildung 4.36: Ergebnisse der BDF07 (Mineraloberboden) der gesamten Untersuchungsjahre des organischen Kohlenstoffgehaltes (C_{org}), des pH-Wertes, der gesamten ($C_{mic-CFE}$) und der glucoseaktivierten ($C_{mic-SIR}$) mikrobiellen Biomasse und des Anteils dieser Biomasse am organischen Kohlenstoffgehalt ($Q_{mic-CFE}$ und $Q_{mic-SIR}$). Fehlerbalken stellen die Standardabweichung aus vier Einzelergebnissen dar.

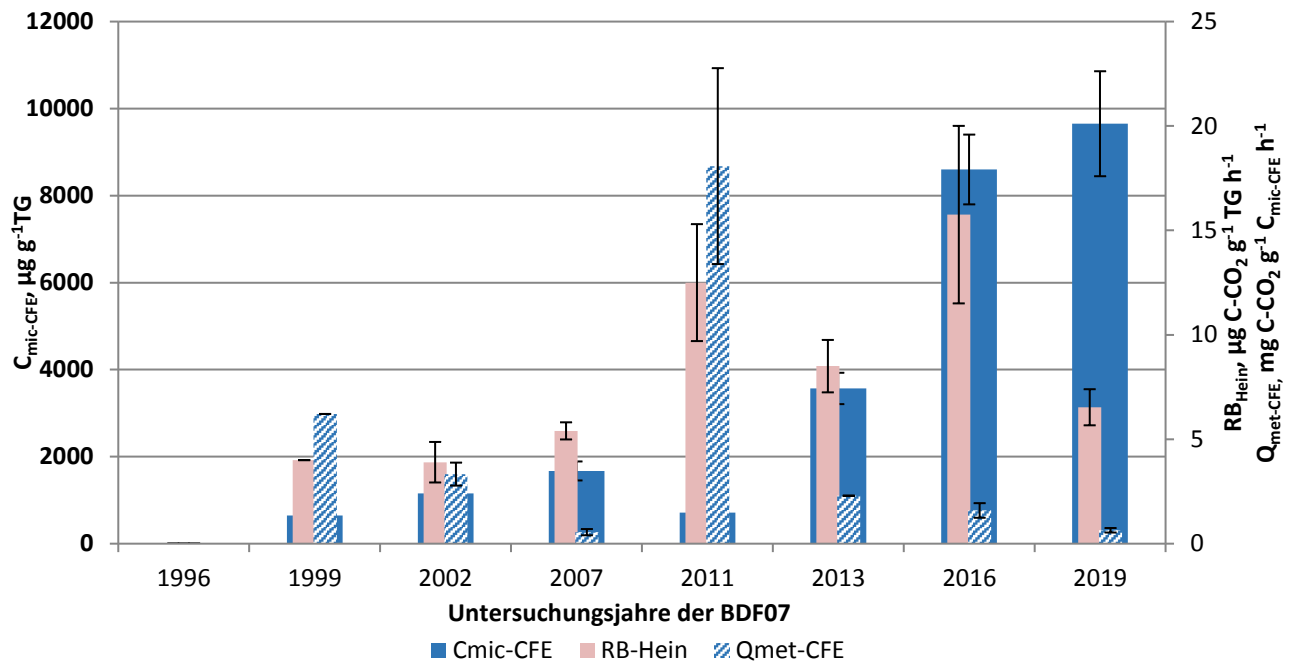


Abbildung 4.37: Ergebnisse der mikrobiellen Aktivität der BDF07 (organische Auflage) der gesamten Untersuchungsjahre, dargestellt anhand der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$), ihrer Basalatmung (R_{B-Hein}) und der mikrobiellen Aktivität ($Q_{met-CFE}$) bezogen auf das Trockengewicht. Für 2016 wurde ein Mittelwert aus Of und Oh gebildet und dargestellt.

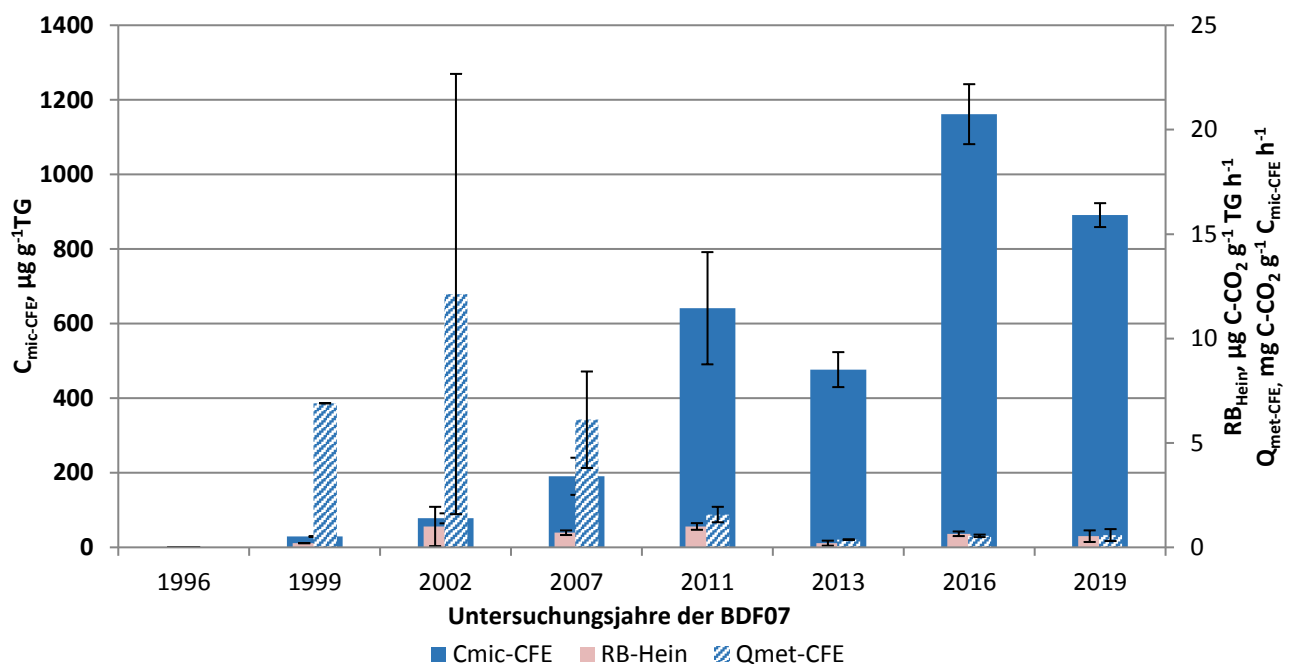


Abbildung 4.38: Ergebnisse der mikrobiellen Aktivität der BDF07 (Mineraloberboden) der gesamten Untersuchungsjahre, dargestellt anhand der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$), ihrer Basalatmung (R_{B-Hein}) und der mikrobiellen Aktivität ($Q_{met-CFE}$) bezogen auf das Trockengewicht.

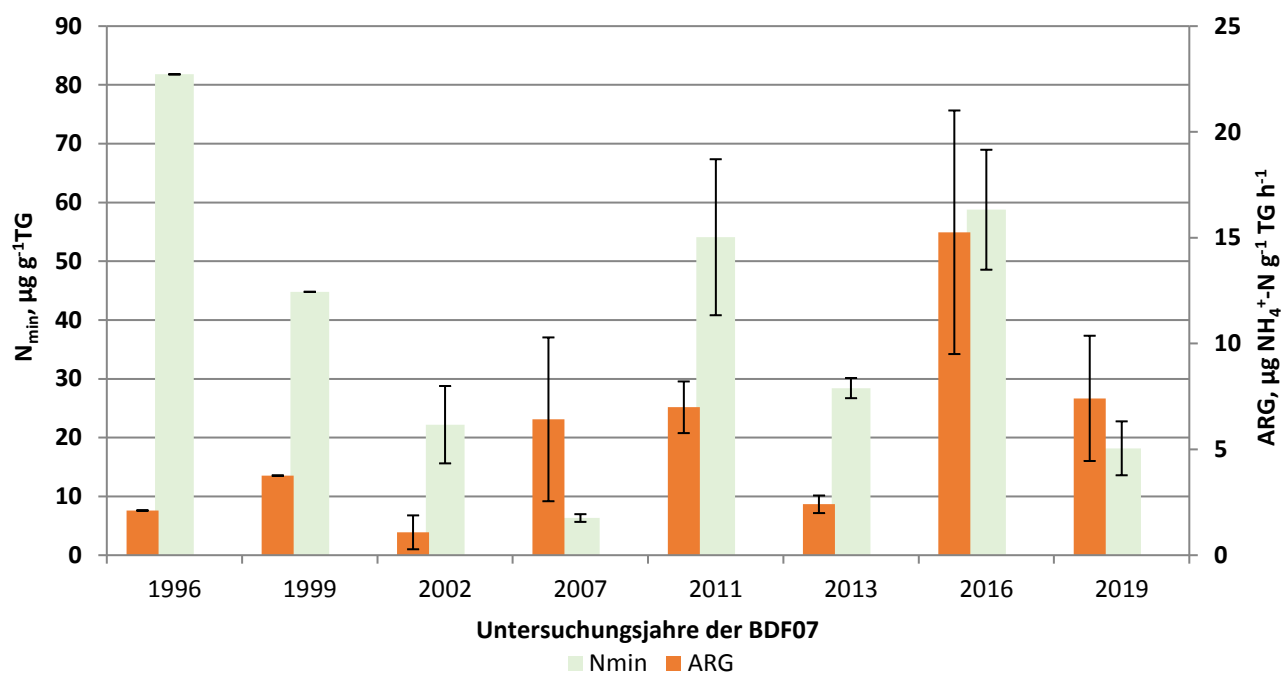


Abbildung 4.39: Darstellung des löslichen Stickstoffs (N_{\min}) und der Argininammonifikation (ARG) der gesamten Untersuchungsjahre der BDF07 (organische Auflage). Für 2016 wurde ein Mittelwert aus Of und Oh gebildet und dargestellt.

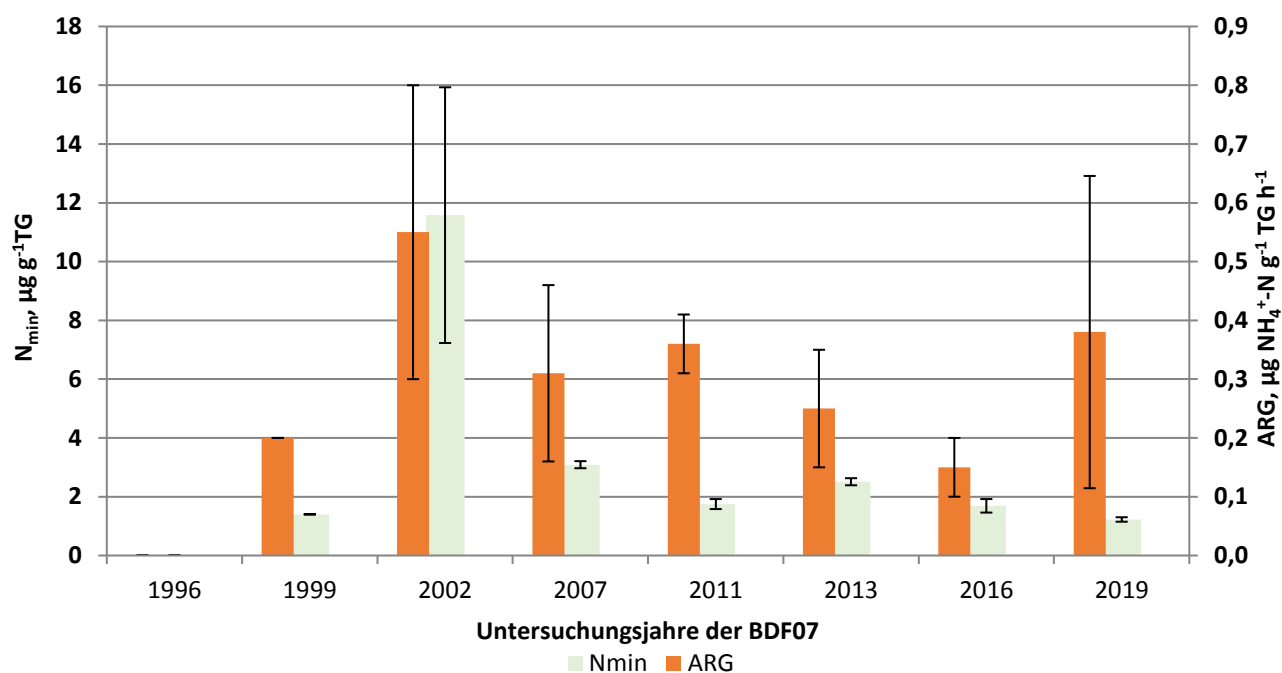


Abbildung 4.40: Darstellung des löslichen Stickstoffs (N_{\min}) und der Argininammonifikation (ARG) der gesamten Untersuchungsjahre der BDF07 (Mineraloberboden).

Tabelle 4.35: Vergleich von mikrobiologischen und abiotischen Analyseergebnissen aus den acht Beprobungsjahren der BDF07. Angegeben ist jeweils der Mittelwert aus mindestens drei Parallelen und, wenn berechnet, die Standardabweichung dieses Wertes. Eine genauere Beschreibung der Tabelle ist im Anhang A 7.

Jahr	Boden- horizont	C _{mic} -CFE	C _{mic} -SIR Hein	N _{mic} -CFE	R _B -Hein	ARG	Q _{met} -CFE R _B -Hein / C _{mic} -CFE	Q _{met} -SIR R _B -Hein / C _{mic} -SIR	N _{min}	C _{org}	N _t	C _{org} / N _t
	Tiefe, cm	µg g ⁻¹ TG	µg g ⁻¹ TG	µg g ⁻¹ TG	µg CO ₂ -C g ⁻¹ TG h ⁻¹	µg NH ₄ ⁺ - N g ⁻¹ TG h ⁻¹	µg CO ₂ -C mg ⁻¹ C _{mic} - CFE h ⁻¹	µg CO ₂ -C mg ⁻¹ C _{mic} - SIR h ⁻¹	µg g ⁻¹ TG	cg g ⁻¹ TG	cg g ⁻¹ TG	
1996	Ofh bis +6 cm	2062 n.b.	n.b. n.b.	658 n.b.	n.b. n.b.	2,1 n.b.	n.b. n.b.	n.b. n.b.	81,8 n.b.	42,6 n.b.	2,2 n.b.	19,9 n.b.
1999	Ofh bis +6 cm	644 n.b.	1088 n.b.	243 n.b.	4,0 n.b.	3,8 n.b.	6,2 n.b.	3,7 n.b.	44,8 n.b.	40,1 n.b.	2,2 n.b.	18,0 n.b.
1999	Aeh bis -5 cm	29 n.b.	114 n.b.	6 n.b.	0,2 n.b.	0,2 n.b.	6,9 n.b.	1,8 n.b.	1,4 n.b.	1,5 n.b.	0,1 n.b.	23,3 n.b.
2002	Ofh bis +6 cm	1155 ± 140	711 ± 147	80 ± 27	3,9 ± 1,0	1,1 ± 0,8	3,3 ± 0,6	5,4 ± 0,4	22,2 ± 6,6	38,1 ± 2,1	1,4 ± 0,2	28,0 ± 3,9
2002	Aeh bis -5 cm	78 ± 13	148 ± 39	17 n.b.	1,0 ± 0,9	0,6 ± 0,3	12,1 ± 10,5	7,0 ± 6,9	11,6 ± 4,4	2,6 ± 1,1	0,1 ± 0,0	23,4 ± 4,6
2007	Ofh bis +6 cm	1671 ± 218	484 ± 44	n.b. n.b.	5,4 ± 0,4	6,4 ± 3,9	0,6 ± 0,2	1,9 ± 0,4	6,3 ± 0,7	40,9 ± 8,4	2,1 ± 0,5	20,2 ± 4,5
2007	Aeh bis -5 cm	191 ± 50	130 ± 24	n.b. n.b.	0,7 ± 0,1	0,3 ± 0,2	6,1 ± 2,3	8,7 ± 3,0	3,1 ± 0,1	7,8 ± 2,7	0,3 ± 0,1	25,8 ± 1,1
2011	Ofh bis +6 cm	711 ± 175	3202 ± 553	n.b. n.b.	12,5 ± 2,8	7,0 ± 1,2	18,1 ± 4,7	3,9 ± 0,3	54,1 ± 13,3	37,7 ± 4,5	2,1 ± 0,3	18,0 ± 0,5
2011	Aeh bis -5 cm	641 ± 151	158 ± 46	n.b. n.b.	1,0 ± 0,2	0,4 ± 0,1	1,6 ± 0,4	6,6 ± 2,1	1,8 ± 0,2	4,1 ± 0,5	0,1 ± 0,0	35,9 ± 4,6
2013	Of bis +17 cm	3346 ± 259	n.b. n.b.	183 ± 17	3,4 ± 0,7	1,3 ± 0,5	1,0 ± 0,2	n.b. n.b.	12,3 ± 1,0	40,3 ± 2,5	1,7 ± 0,1	24,2 ± 1,4
2013	Oh bis +10 cm	3789 ± 461	n.b. n.b.	329 ± 24	13,6 ± 1,8	3,5 ± 0,3	3,6 ± 0,9	n.b. n.b.	44,6 ± 2,4	48,6 ± 2,3	2,4 ± 0,1	20,1 ± 0,5
2013	Aeh bis -5 cm	477 ± 47	n.b. n.b.	10 ± 2	0,2 ± 0,1	0,3 ± 0,1	0,4 ± 0,2	n.b. n.b.	2,5 ± 0,1	4,0 ± 0,5	0,1 ± 0,0	31,4 ± 3,1
2016	Of bis +19,4 cm	11938 ± 1026	n.b. n.b.	320 ± 52	26,5 ± 7,9	29,3 ± 9,4	2,2 ± 0,7	n.b. n.b.	96,7 ± 16,8	46,7 ± 1,0	2,3 ± 0,1	20,2 ± 0,7
2016	Oh bis +12,2 cm	5262 ± 577	n.b. n.b.	122 ± 27	5,1 ± 0,6	1,2 ± 2,1	1,0 ± 0,1	n.b. n.b.	20,8 ± 3,7	36,6 ± 2,1	1,5 ± 0,1	24,4 ± 1,0
2016	Aeh bis - 5,3 cm	1162 ± 80	n.b. n.b.	13 ± 3	0,7 ± 0,1	0,2 ± 0,1	0,6 ± 0,1	n.b. n.b.	1,7 ± 0,2	4,2 ± 0,5	0,2 ± 0,0	28,4 ± 5,6
2019	Of bis +17 cm	12965 ± 680	n.b. n.b.	279 ± 34	10,1 ± 1,3	7,2 ± 4,6	0,8 ± 0,1	n.b. n.b.	28,0 ± 6,6	48,4 ± 3,0	2,3 ± 0,2	20,9 ± 0,5
2019	Oh bis +11,1 cm	6339 ± 1733	n.b. n.b.	125 ± 34	3,0 ± 0,4	7,6 ± 1,3	0,5 ± 0,1	n.b. n.b.	8,4 ± 2,6	35,2 ± 10,7	1,5 ± 0,4	24,1 ± 0,8
2019	Aeh bis - 3 cm	891 ± 32	n.b. n.b.	6 ± 3	0,5 ± 0,3	0,4 ± 0,3	0,6 ± 0,3	n.b. n.b.	1,2 ± 0,1	4,0 ± 0,5	0,1 ± 0,0	35,3 ± 7,1

Fortsetzung: Tabelle 4.35

Jahr	Boden- horizont	C _{mic} -CFE / Fläche	C _{mic} -SIR / Fläche	N _{mic} -CFE / Fläche	R _B -Hein / Fläche	ARG / Fläche	Q _{mic} -CFE C _{mic} -CFE / C _{org}	Q _{mic} -SIR C _{mic} -SIR / C _{org}	N _{min} / Fläche	C _{org} / Fläche	N _t / Fläche	pH
	Tiefe, cm	g m ⁻²	g m ⁻²	g m ⁻²	mg CO ₂ -C m ⁻² h ⁻¹	mg NH ₄ ⁺ - N m ⁻² h ⁻¹	%	%	kg ha ⁻¹	g m ⁻²	g m ⁻²	
1996	Ofh bis +6 cm	n.b. n.b.	n.b. n.b.	n.b. n.b.	n.b. n.b.	n.b. n.b.	0,5 n.b.	n.b. n.b.	n.b. n.b.	n.b. n.b.	n.b. n.b.	2,8 n.b.
1999	Ofh bis +6 cm	19,3 n.b.	32,6 n.b.	7,3 n.b.	120,0 n.b.	112,8 n.b.	0,2 n.b.	0,3 n.b.	13,4 n.b.	n.b. n.b.	n.b. n.b.	2,9 n.b.
1999	Aeh bis -5 cm	2,2 n.b.	8,6 n.b.	0,5 n.b.	15,1 n.b.	15,1 n.b.	0,2 n.b.	0,8 n.b.	1,1 n.b.	n.b. n.b.	n.b. n.b.	3,1 n.b.
2002	Ofh bis +6 cm	39,8 n.b.	24,5 n.b.	2,8 n.b.	134,1 n.b.	37,1 n.b.	0,3 n.b.	0,2 n.b.	7,7 n.b.	13151 n.b.	475 n.b.	2,9 ± 0,1
2002	Aeh bis -5 cm	5,5 n.b.	10,4 n.b.	1,2 n.b.	72,0 n.b.	38,5 n.b.	0,3 n.b.	0,6 n.b.	8,1 n.b.	1787 n.b.	77 n.b.	3,4 n.b.
2007	Ofh bis +6 cm	52,7 n.b.	15,2 n.b.	n.b. n.b.	169,3 n.b.	202,1 n.b.	0,4 ± 0,1	0,1 ± 0,0	2,0 n.b.	12884 n.b.	654 n.b.	2,8 ± 0,1
2007	Aeh bis -5 cm	12,1 n.b.	8,3 n.b.	n.b. n.b.	46,2 n.b.	19,7 n.b.	0,2 n.b.	0,2 n.b.	2,0 n.b.	4959 n.b.	192 n.b.	2,8 n.b.
2011	Ofh bis +6 cm	33,3 n.b.	150,1 n.b.	n.b. n.b.	586,3 n.b.	327,4 n.b.	0,2 ± 0,1	0,9 ± 0,1	25,4 n.b.	17687 n.b.	983 n.b.	2,8 ± 0,0
2011	Aeh bis -5 cm	46,5 n.b.	11,4 n.b.	n.b. n.b.	70,3 n.b.	26,0 n.b.	1,6 n.b.	0,4 n.b.	1,3 n.b.	2979 n.b.	83 n.b.	3,0 n.b.
2013	Of bis +17 cm	82,9 ± 6,9	n.b. n.b.	4,6 ± 0,7	94,5 ± 20,7	33,4 ± 15,0	0,8 ± 0,1	n.b. n.b.	3,1 ± 0,4	10023 ± 1368	414 ± 31	2,9 ± 0,0
2013	Oh bis +10 cm	35,0 ± 6,5	n.b. n.b.	3,0 ± 0,4	118,1 ± 18,4	32,2 ± 3,5	0,8 ± 0,1	n.b. n.b.	4,1 ± 0,5	4466 ± 375	223 ± 22	3,0 ± 0,0
2013	Aeh bis -5 cm	27,7 ± 3,2	n.b. n.b.	0,6 ± 0,1	10,2 ± 7,8	14,4 ± 6,1	1,2 ± 0,2	n.b. n.b.	1,5 ± 0,1	2340 ± 344	77 ± 7	3,1 ± 0,0
2016	Of bis +19,4 cm	145,5 ± 12,5	n.b. n.b.	3,9 ± 0,6	322,4 ± 96,8	357,0 ± 114,7	2,6 ± 0,3	n.b. n.b.	11,8 ± 2,0	5692 ± 124	282 ± 11	2,8 ± 0,0
2016	Oh bis +12,2 cm	181,6 ± 19,9	n.b. n.b.	4,2 ± 0,9	174,8 ± 19,3	42,4 ± 72,5	1,4 ± 0,2	n.b. n.b.	7,2 ± 1,3	12620 ± 718	518 ± 28	2,7 ± 0,0
2016	Aeh bis -5,3 cm	76,7 ± 5,3	n.b. n.b.	0,9 ± 0,2	42,6 ± 7,3	10,2 ± 3,3	2,8 ± 0,4	n.b. n.b.	1,1 ± 0,2	2793 ± 330	102 ± 20	2,8 ± 0,0
2019	Of bis +17 cm	134,8 ± 7,1	n.b. n.b.	2,9 ± 0,4	104,9 ± 14,0	75,2 ± 48,3	2,7 ± 0,1	n.b. n.b.	2,9 ± 0,7	5035 ± 316	241 ± 16	2,9 ± 0,1
2019	Oh bis +11,1 cm	181,1 ± 49,5	n.b. n.b.	3,6 ± 1,0	84,9 ± 10,9	216,7 ± 36,4	2,0 ± 0,7	n.b. n.b.	2,4 ± 0,7	10047 ± 3050	415 ± 118	2,9 ± 0,0
2019	Aeh bis -3 cm	37,6 ± 1,4	n.b. n.b.	0,3 ± 0,1	22,5 ± 11,7	4,4 ± 11,2	2,3 ± 0,3	n.b. n.b.	0,5 ± 0,0	1687 ± 200	49 ± 4	3,1 ± 0,0

4.7.4 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zu abiotischen Standortfaktoren

Eine statistisch signifikante Beziehung besteht zwischen der Argininammonifikation (ARG) und dem Gehalt der mineralischen Stickstoffverbindungen (N_{\min} , $r = 0,874$, $p < 0,05$, $N = 6$). Somit waren bei höheren Ammonifikationsraten auch höhere N_{\min} -Gehalten zu verzeichnen. Weitere Beziehungen zeigen sich zwischen dem mikrobiellen Quotienten der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{\text{mic-SIR}}$) und dem Gehalt organischen Kohlenstoffs (C_{org} , $r = -0,964$, $p < 0,05$, $N = 4$) sowie der bodenkundlichen Feuchtestufe ($r = 0,993$, $p < 0,01$, $N = 4$). Der mikrobielle Quotient war somit unter feuchteren und humusärmeren Bedingungen im Mineraloberboden tendenziell höher. Für die bodenmikrobiologischen Parameter der Humusaufgabe zeigen sich keine signifikanten Zusammenhänge mit den abiotischen Faktoren.

Grundsätzlich ergibt die Kombination der Standortfaktoren günstige Bedingungen für das Vorhandensein von Bodenmikroorganismen, was sich in dem sehr hohen Gehalt der gesamten mikrobiellen Biomasse widerspiegelt. Der sehr geringe Anteil der aktiven mikrobiellen Biomasse, welcher bei der aktuellen Untersuchung aus der sehr geringen Ammonifikationsaktivität hervorgeht, weist jedoch möglicherweise auf starke Einschränkungen der Aktivität durch einen Mangel an leicht abbaubaren Substanzen hin. Dies zeigt sich durch das vergleichsweise sehr hohe $C_{\text{org}}/N_{\text{t}}$ -Verhältnis der organischen Substanz sowohl im Mineraloberboden als auch in der Humusaufgabe.

4.7.5 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zum Klima und zur Witterung

Die metabolischen Quotienten ($Q_{\text{met-CFE}}$, $Q_{\text{met-SIR}}$) zeigen Beziehungen zu den klimatischen Parametern. Der $Q_{\text{met-CFE}}$ korreliert dabei signifikant mit den Temperaturen der jeweils vergangenen Hauptvegetationsperioden ($r = 0,983$, $p < 0,05$, $N = 4$). Der $Q_{\text{met-SIR}}$ korreliert dagegen mit den Vorjahresniederschlägen ($r = -0,996$, $p < 0,01$, $N = 4$). Daraus geht hervor, dass die gesamte mikrobielle Biomasse nach kühleren Sommermonaten effizientere Stoffwechselprozesse hatte, während die glucoseverwertende mikrobielle Biomasse nach niederschlagsreicheren Jahren durch höhere Effizienz gekennzeichnet war.

4.7.6 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Bewirtschaftung

Die Bewirtschaftung des Waldes erfolgte langjährig durch Einzelentnahmen von Bäumen. Dies kann zu einer Erhöhung der Bodentemperatur durch stärkere Sonneneinstrahlung sowie zu einer Absenkung des Grundwasserstandes durch verringerten Sog führen. Für das Wachstum der Bodenmikroorganismen kann dies je nach Stärke der Veränderungen auch positive Effekte haben.

4.7.7 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Vegetationskunde

Die Vegetation, bestehend aus vorwiegend Stiel- und Traubeneichen sowie aus Drahtschmielen und Pfeifengras in der Krautschicht, liefert eine stickstoffarme und relativ schwer zersetzbare Streu. Dies spiegelt sich im $C_{\text{org}}/N_{\text{t}}$ -Verhältnis wider, welches eines der weitesten aller untersuchten Humusaufgaben ist. Der lichte Baumbestand erhöht die Einstrahlung der Sonne, die Humusaufgabe wirkt zusätzlich isolierend, was insgesamt ein wärmeres Bodenklima und eine höhere mikrobielle Aktivität begünstigt. Das großflächige Wachstum der Drahtschmiele führt zu einer guten Durchlüftung der Humusaufgabe.

4.7.8 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Bodenzoologie

Aufgrund fehlender endogäischer und anecischer Regenwürmer findet eine Einarbeitung der Streu in den Mineraloberboden nicht statt. Dies führt dazu, dass der organische Kohlenstoff im Mineralboden sowohl quantitativ als auch qualitativ das Wachstum der Bodenmikroorganismen limitiert und sich die Mikroorganismen vorwiegend in der organischen Auflage ansiedeln. Bei der Betrachtung der Abundanz der epigäischen Regenwürmer zeigt sich, dass diese zwischen den Jahren 2006 und 2012 deutlich zugenommen hat, während die gesamte mikrobielle Biomasse in der Humusauflage zwischen 2007 und 2011 deutlich abgenommen hat ähnlich der Siedlungsdichte der Kleinringelwürmer, die sich deutlich zwischen den Jahren 2006 und 2012 reduzierte. Zum Jahr 2018 nahmen die Abundanzen der Regen- und Kleinringelwürmer ab, während die mikrobiellen Biomassegehalte zwischen 2013 und 2019 deutlich zugenommen haben.

4.8 BDF20 Wüstenfelde

4.8.1 Situation bei der Probenentnahme

Tabelle 4.36: Temperatur und Niederschlag zum Jahreswechsel 2018/2019 an der BDF20. Monatsdurchschnittstemperatur in °C, Monatsniederschlagssumme in mm.

Jahr	Monat	Monatsdurchschnitts- temperatur, °C	Niederschlag, mm/Monat
2018	Oktober	11,3	29
	November	6,1	18
	Dezember	5,1	69
2019	Januar	2	43
	Februar	4,8	43
	März	6,3	84
Dez. 18 - Feb. 19		4	155

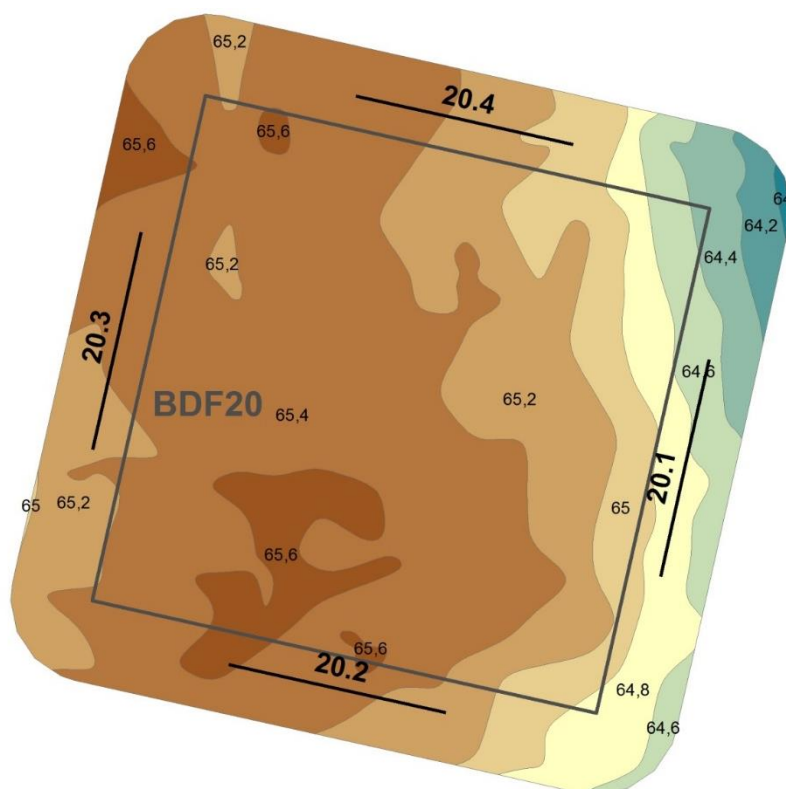


Abbildung 4.41: Lage der Probenentnahmestellen an der BDF20 (20.1-4).

Tabelle 4.37: Bedingungen während der Probenentnahme an der BDF20 (Probenentnahmeprotokoll). Für die Witterungsverhältnisse und die Bodenbeschaffenheit sind die Abkürzungen nach Ad-Hoc-ARBEITSGRUPPE BODEN, 2005, angegeben.

Bearbeiter	Herr Dr. Elsner
Datum	07.03.2019
Beginn	09:00 Uhr
Temp., GOF	10,3°C
Temp., 10cm	5,8°C
Tage ohne Frost	7 Tage
Niederschlag	stärkere Regenfälle seit mehr. Tagen
Bodenfeuchte	stark feucht, weich
Baumbestand, Alter	jung/alt
Baumbestand, Einheitlichkeit	Reinbestand
Kronenschluß	
Baumart, dominierend	Buche
Baumart, begleitend	Eiche
Frühlingsblüher	
Bodenvegetation, Zusammensetz.	überwiegend Gräser
Bodenvegetation, Einheitlichkeit	uneinheitlich
Bodenvegetation, Höhe	10-25 cm
Bodenvegetation, Deckung	geschlossen, <25% freier Boden
Bewirtschaftungsmaßn.	Durchforstung, Auflichtung
Störung des Bodens	Fahrspuren
Bemerkung	große Kronen unregelmäßig über BDF verteilt

4.8.2 Analyseergebnisse und Klassifikation

Die BDF20 Wüstenfelde befindet sich an einem Jungmoränen-Standort des Östlichen Hügellandes in einem Laubwald mit einer Buchen- Perlgrasvegetation. Die Bodenform ist Parabraunerde-Pseudogley aus pleistozäner Fließerde. Die abiotischen Analyseergebnisse sind in der Tabelle 4.38, die bodenmikrobiologischen Parameter in der Tabelle 4.39 dargestellt.

Humusauflage

Die Humusauflage (L-Mull bis mullartiger Moder, 2,4 cm mächtig) der BDF20 besitzt im Vergleich der Waldstandorte überdurchschnittlich hohe Gehalte organischen Kohlenstoffs (C_{org}) und des Gesamtstickstoffs (N_t). Das daraus resultierende C_{org}/N_t -Verhältnis von 21 weist auf eine geringe Humusqualität hin. Der Gehalt der löslichen Stickstoffverbindungen (N_{min}) ist für Humusauflagen sehr hoch und setzt sich etwa zu 95 % aus Ammonium und zu 5 % aus Nitrat zusammen. Der pH-Wert der Auflage ist mit 4,9 im mäßig sauren Bereich.

Aus mikrobiologischer Sicht weist die Auflage der BDF20 neben der BDF07 die höchsten Aktivitätswerte auf. Dies gilt insbesondere für die Parameter mikrobielle Biomasse ($C_{mic-CFE}$), mikrobieller Quotient ($Q_{mic-CFE}$), mikrobieller Stickstoffgehalt ($N_{mic-CFE}$), Basalatmung (R_{B-Hein}) sowie für die Argininammonifikation (ARG). Die Werte dieser Parameter werden für Humusaufgaben als sehr hoch eingestuft. Der metabolische Quotient ($Q_{met-CFE}$) weist hingegen mittel hohe Werte auf.

Mineraloberboden

Der Mineraloberboden (Aeh, bis 2,5 cm Tiefe) der BDF20 zeichnet sich im Vergleich der Waldstandorte durch den höchsten Gehalt organischen Kohlenstoffs (C_{org}) aus. Nach Ad hoc AG-Boden (2005) ist der Boden der BDF20 als sehr stark humos einzustufen. Auch weist die BDF20 den höchsten Gehalt des Gesamtstickstoffs (N_t) auf, so dass das engste C_{org}/N_t -Verhältnis von ca. 15 im Mineralboden aller Wald-BDF erreicht wird. Die BDF20 durch eine mittel hohe Humusqualität gekennzeichnet. Bei dem Gehalt der löslichen Stickstoffverbindungen (N_{min}) zeigt die BDF20 einen für lehmige Waldböden mittel hohen Gehalt. Der N_{min} -Gehalt besteht zu etwa 80 % aus Ammonium und zu etwa 20 % aus Nitrat. Mit einem Boden-pH-Wert von 4,4 im stark sauren Bereich weist die BDF20 den höchsten pH aller Waldstandorte auf. Die Trockenrohdichte des Bodens wird als mittel hoch eingestuft.

Der Mineraloberboden der BDF20 weist für lehmige Waldböden sehr hohe Gehalte mikrobieller Biomasse ($C_{mic-CFE}$) und mikrobiellen Stickstoffs ($N_{mic-CFE}$) auf. Der mikrobielle Quotient ($Q_{mic-CFE}$) wird als hoch eingestuft. Die Basalatmung (R_{B-Hein}) weist mittel hohe Werte auf, während die Argininammonifikation (ARG) als niedrig eingestuft wird. Der metabolische Quotient ($Q_{met-CFE}$) ist sehr niedrig.

Tabelle 4.38: Ergebnisse der bodenchemischen Analyse 2019 der BDF20 (Wüstenfelde). Aufgeführt sind der organische Kohlenstoffgehalt (C_{org}) und der Gesamtstickstoffgehalt (N_t) in $cg\ g^{-1}TG$, sowie das Verhältnis von organischem Kohlenstoff zu Stickstoff im Boden (C_{org} / N_t), der gelöste Stickstoffgehalt (N_{min}) berechnet aus der Summe von Ammonium (NH_4^+-N), Nitrit ($NO_2^- - N$) und Nitrat ($NO_3^- - N$), die Trockenrohddichte in $g\ TG\ cm^{-3}$, der Wassergehalt in $mg\ g^{-1}\ TG$ und der pH gemessen in $CaCl_2$. Die Werte stellen jeweils den Mittelwert aus acht Parallelen dar und sind mit der Standardabweichung angegeben. Farbkodierungen zur Bewertung siehe Anhang Tabelle A 2, A 3, A 4 und A 5.

Boden-horizont	C_{org}	N_t	C_{org} / N_t	N_{min}	NH_4^+-N	$NO_2^- - N$	$NO_3^- - N$
Tiefe, cm	$cg\ g^{-1}\ TG$	$cg\ g^{-1}\ TG$		$\mu g\ g^{-1}\ TG$	$\mu g\ g^{-1}\ TG$	$\mu g\ g^{-1}\ TG$	$\mu g\ g^{-1}\ TG$
Of&Oh bis +2,4 cm	35,4 $\pm 4,3$	1,7 $\pm 0,2$	21,1 $\pm 0,8$	144,1 $\pm 52,4$	136,1 $\pm 47,2$	0,4 $\pm 0,2$	7,6 $\pm 5,5$
Aeh bis -2,5 cm	7,1 $\pm 1,4$	0,5 $\pm 0,1$	15,2 $\pm 0,8$	15,8 $\pm 1,1$	13,0 $\pm 1,0$	0,0 $\pm 0,0$	2,8 $\pm 0,7$

Boden-horizont	$C_{org} / \text{Fläche}$	$N_t / \text{Fläche}$	$N_{min} / \text{Fläche}$	$N_{min} / \text{Fläche}$	Trockenroh-dichte	Wasser-gehalt	pH
Tiefe, cm	$g\ m^{-2}$ Horizonttiefe	$g\ m^{-2}$ Horizonttiefe	$g\ m^{-2}$ Horizonttiefe	$kg\ N\ ha^{-1}$ Horizonttiefe	$g\ TG\ cm^{-3}$	$mg\ g^{-1}\ TG$	
Of&Oh bis +2,4 cm	1281 ± 157	61 ± 8	0,5 $\pm 0,2$	5,2 $\pm 1,9$	0,2 $\pm n.b.$	2519 ± 150	4,9 $\pm 0,3$
Aeh bis -2,5 cm	2451 ± 483	161 ± 25	0,5 $\pm 0,0$	5,5 $\pm 0,4$	1,4 $\pm n.b.$	546 ± 108	4,4 $\pm 0,4$

Tabelle 4.39: Ergebnisse der bodenmikrobiologischen Analyse 2019 der BDF20 (Wüstenfelde). Aufgeführt ist der mikrobielle Kohlenstoffgehalt, gemessen mit der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($C_{mic-CFE}$) und über die Substratinduzierte Atmung (SIR) mit der Heinemeyeraanalyse ($C_{mic-SIR}$), außerdem der mikrobielle Stickstoffgehalt, gemessen mit der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($N_{mic-CFE}$). Angegeben sind weiterhin die mikrobielle Basalatmung, gemessen als CO_2 -Produktionsrate mithilfe der Heinemeyeraanlage (R_{B-Hein}) und die potentielle Ammonifikation nach der Arginin-Ammonifikationsmethode (ARG). Des weiteren sind der metabolische Quotient und der mikrobielle Quotient jeweils aus den Ergebnissen der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($C_{mic-CFE}$) und der Heinemeyeraanlage ($C_{mic-SIR}$) berechnet. Die Werte stellen jeweils den Mittelwert aus acht Parallelen dar und sind mit der Standardabweichung angegeben. Farbkodierungen siehe Anhang A 6. Im unteren Teil der Tabelle sind die verschiedenen Parameter bezogen auf die Fläche angegeben.

Boden-horizont	$C_{mic-CFE}$	$C_{mic-SIR}$	$N_{mic-CFE}$	R_{B-Hein}	ARG	$Q_{mic-CFE}$ $C_{mic-CFE} / C_{org}$	$Q_{mic-SIR}$ $C_{mic-SIR} / C_{org}$
Tiefe, cm	$\mu g\ g^{-1} TG$	$\mu g\ g^{-1} TG$	$\mu g\ g^{-1} TG$	$\mu g\ CO_2-C$ $g^{-1} TG\ h^{-1}$	$\mu g\ NH_4^+-N$ $g^{-1} TG\ h^{-1}$	%	%
Of&Oh bis +2,4 cm	11972 ± 279	n.b. $\pm n.b.$	778 ± 262	27,1 $\pm 5,2$	37,3 $\pm 6,9$	3,4 $\pm 0,4$	n.b. $\pm n.b.$
Aeh bis -2,5 cm	1768 ± 201	n.b. $\pm n.b.$	120 ± 13	1,6 $\pm 0,3$	1,3 $\pm 0,4$	2,6 $\pm 0,3$	n.b. $\pm n.b.$

Boden-horizont	$C_{mic-CFE} /$ Fläche	$C_{mic-SIR} /$ Fläche	$N_{mic-CFE} /$ Fläche	$R_{B-Hein} /$ Fläche	ARG / Fläche	$Q_{met-CFE}$ $R_{B-Hein} / C_{mic-CFE}$	$Q_{met-SIR}$ $R_{B-Hein} / C_{mic-SIR}$
Tiefe, cm	$g\ m^{-2}$ Horizonttiefe	$g\ m^{-2}$ Horizonttiefe	$g\ m^{-2}$ Horizonttiefe	$mg\ CO_2-C$ $m^{-2}\ h^{-1}$ Horizonttiefe	$mg\ NH_4^+-N$ $m^{-2}\ h^{-1}$ Horizonttiefe	$\mu g\ CO_2-C$ $mg^{-1} C_{mic-CFE}\ h^{-1}$	$\mu g\ CO_2-C$ $mg^{-1} C_{mic-SIR}\ h^{-1}$
Of&Oh bis +2,4 cm	43 ± 1	n.b. $\pm n.b.$	2,8 $\pm 0,9$	98 ± 19	135 ± 25	2,3 $\pm 0,4$	n.b. $\pm n.b.$
Aeh bis -2,5 cm	61 ± 7	n.b. $\pm n.b.$	4,2 $\pm 0,5$	56 ± 10	44 ± 16	0,9 $\pm 0,1$	n.b. $\pm n.b.$

4.8.3 Zeitreihenvergleich

Humusaufgabe

Die Humusaufgabe der BDF 20 wurde bis 2013 bis +1 cm über dem Mineralboden im Oh-Horizont beprobt. Dagegen wurde ab 2016 die gesamte Humusaufgabe von +2,5 cm und die Horizonte Of und Oh gemeinsam als Probe genommen. Der organische Kohlenstoff (C_{org}) schwankte im Verlauf der Untersuchungsjahre (Abbildung 4.42). Zunächst erfolgte eine deutliche Abnahme im C_{org} -Gehalt zwischen 1999 und 2002 auf den bisher niedrigsten Wert. Der C_{org} -Gehalt stieg zum Jahr 2007 deutlich an, und stagnierte bis 2011. Es folgte eine Abnahme des organischen Kohlenstoffs zum Jahr 2013. Zum Untersuchungsjahr 2016 erfolgte, trotz Änderung der Probennahme, eine lediglich geringfügige Zunahme. Zum Jahr 2019 stieg der C_{org} -Gehalt auf den bisherigen Höchststand an. Der pH sank zunächst zwischen den Jahren 1999 und 2002 um 0,6 Einheiten und stieg danach weitgehend beständig zum Jahr 2016 an. Zum Jahr 2019 zeigte sich ein starker pH-Anstieg um 0,9 Einheiten.

Der Gehalt der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$) stieg im Zeitraum der Jahre 1999 bis 2007 deutlich an. Zum darauffolgenden Untersuchungsjahr 2011 reduzierte sich der $C_{mic-CFE}$ -Gehalt auf etwa das Niveau der Erstuntersuchung. Es folgte eine deutliche Zunahme im Gehalt der mikrobiellen Biomasse zum Jahr 2016 sowie eine weitere sehr starke Zunahme zum Jahr 2019 auf den bisher höchsten Wert. Diese Entwicklung spiegelt sich auch bei dem mikrobiellen Quotienten ($Q_{mic-CFE}$) wider. Der Gehalt der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{mic-SIR}$) wurde zwischen den Jahren 1999 und 2011 untersucht. Dabei zeigte sich zunächst eine Zunahme des $C_{mic-SIR}$ -Gehaltes zwischen den Jahren 1999 und 2002 sowie eine leichte Abnahme zum darauffolgenden Untersuchungsjahr 2007. Zum Jahr 2011 stieg der Gehalt der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse auf den bis dahin höchsten Wert stark an. Der mikrobielle Quotient der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{mic-SIR}$) folgte in seiner Entwicklung den Trends des $C_{mic-SIR}$ -Gehaltes.

Die Basalatmung (R_{B-Hein}) in der Humusaufgabe der BDF20 zeigte zunächst eine beständig zunehmende Entwicklung zwischen den Jahren 1999 und 2011 (Abbildung 4.44). Es folgte ein leichter Rückgang der Respiration zum Jahr 2013. Zum Untersuchungsjahr 2016 stieg die Basalatmung, aufgrund der Änderung der Beprobungstiefe, auf ihren Höchstwert an. Der metabolische Quotient ($Q_{met-CFE}$) nahm zunächst im Zeitraum der Jahre 1999 bis 2007 stark ab und erreichte 2007 den niedrigsten Wert. Es folgte eine sehr starke Zunahme auf den bisherigen Höchstwert zum Untersuchungsjahr 2011. Anschließend reduzierte sich der metabolische Quotient zum Jahr 2013 deutlich und blieb bis zum Jahr 2016 nahezu unverändert. Zum Jahr 2019 blieb die Basalatmung annähernd gleich, jedoch nahm der metabolische Quotient stark ab.

Der Gehalt des mineralischen Stickstoffs (N_{min}) zeigte in seiner zeitlichen Entwicklung jeweils abwechselnd zu- und abnehmende Trends (Abbildung 4.46). Die höchsten Werte wurden dabei in den Untersuchungsjahren 2011 und 2016 gemessen. Die Argininammonifikation (ARG) stieg zunächst zwischen den Jahren 1999 und 2002 stark an und erreichte dabei den Höchstwert aller Untersuchungsjahre. Es folgte eine deutliche Abnahme der ARG zum Jahr 2013. Zum Untersuchungsjahr 2016 erfolgte ein leichter Anstieg der Ammonifikationsraten. Zum Jahr 2019 nahm die Argininammonifikation sehr stark zu, während die N_{min} -Gehalte nahezu unverändert blieben.

Mineraloberboden

Der Mineralboden der BDF20 wurde bis 2013 bis 3 cm Tiefe genommen. Dieses entspricht der Mächtigkeit des gesamten Aeh-Horizontes. Seit 2016 wurde dagegen bis zu einer Tiefe von etwa 2,5 cm beprobt. Der Gehalt organischen Kohlenstoffs (C_{org}) im Mineraloberboden der BDF20 schwankte über den gesamten Untersuchungszeitraum (Abbildung 4.43). Nach einer deutlichen Abnahme des C_{org} -Gehalts zwischen den Jahren 1996 und 1999 folgte eine beständige Zunahme bis zum Jahr 2007. Nach einer erneuten Abnahme zum Jahr 2011 folgte ein deutlicher Anstieg zum Jahr 2013 auf den bisher höchsten Wert aller Untersuchungsjahre. Zum Untersuchungsjahr 2016 reduzierte sich der C_{org} -Gehalt erneut und stieg zum Jahr 2019 annähernd auf das Niveau des Jahres 2013. Der Boden-pH zeigte in seiner zeitlichen Entwicklung zunächst lediglich eine Spitze im Jahr 2002. In den übrigen Untersuchungsjahren blieb der pH-Wert weitgehend konstant auf einem Niveau. Zum Jahr 2019 erfolgte ein deutlicher Anstieg des pH-Wertes auf den bisherigen Höchststand.

Der Gehalt der mikrobiellen Biomasse ($C_{\text{mic-CFE}}$) stieg seit dem Jahr 1999 beständig an und erreichte im Untersuchungsjahr 2016 seinen Höchstwert. Zum Jahr 2019 nahm die mikrobielle Biomasse leicht ab. Die gleiche Entwicklung wie die mikrobiellen Biomasse ($C_{\text{mic-CFE}}$) zeigt auch der mikrobielle Quotient ($Q_{\text{mic-CFE}}$). Auch der Gehalt der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{\text{mic-SIR}}$) sowie der mikrobielle Quotient der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{\text{mic-SIR}}$) zeigten nahezu konstante Zunahmen zwischen den Jahren 1999 und 2011.

Die Basalatmung ($R_{\text{B-Hein}}$) stieg zwischen den Jahren 1999 und 2002 zunächst auf einen Höchstwert an (Abbildung 4.45). Es folgte ein Rückgang der Basalatmung zum Jahr 2007 auf das vorherige Niveau. Seit 2007 nahm die Basalatmung bis zum Jahr 2016 beständig zu. Der metabolische Quotient ($Q_{\text{met-CFE}}$) zeichnet die Entwicklung der Basalatmung weitgehend nach, jedoch erfolgte zwischen den Jahren 2013 und 2016 kein weiterer Anstieg mehr, sondern eine geringfügige Abnahme des metabolischen Quotienten. Zum Untersuchungsjahr 2019 zeigten beide Parameter eine deutliche Abnahme.

Die Gehalte des mineralischen Stickstoffs (N_{min}) wiesen im Jahr der Erstuntersuchung 1996 die höchsten Werte auf (Abbildung 4.47). Es folgten eine starke Abnahme zum Jahr 1999 sowie eine leichte Zunahme zum Jahr 2002. Nach einem erneuten Rückgang des N_{min} -Gehaltes erfolgte ein Anstieg bis zum Jahr 2016. Die Argininammonifikation (ARG) reduzierte sich zwischen den Jahren 1996 und 2002 beständig und nahm anschließend im Zeitraum der Jahre 2002 bis 2011 konstant bis zum Höchstwert zu. Seit 2011 nahm die Argininammonifikation bis zum Jahr 2016 weiter ab. Zum Untersuchungsjahr 2019 zeigten beide Parameter eine weitere Abnahme.

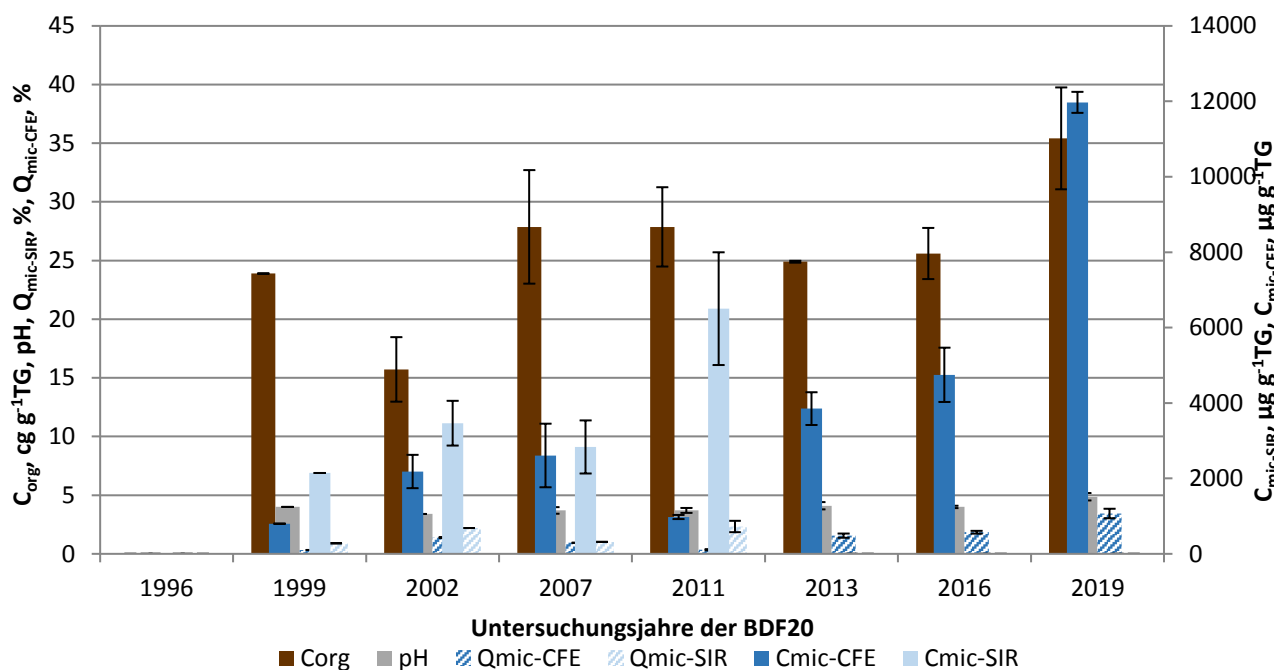


Abbildung 4.42: Ergebnisse der BDF20 (organische Auflage) der gesamten Untersuchungsjahre des organischen Kohlenstoffgehaltes (C_{org}), des pH-Wertes, der gesamten ($C_{mic-CFE}$) und der glucoseaktivierten ($C_{mic-SIR}$) mikrobiellen Biomasse und des Anteils dieser Biomasse am organischen Kohlenstoffgehalt ($Q_{mic-CFE}$ und $Q_{mic-SIR}$). Fehlerbalken stellen die Standardabweichung aus vier Einzelergebnissen dar.

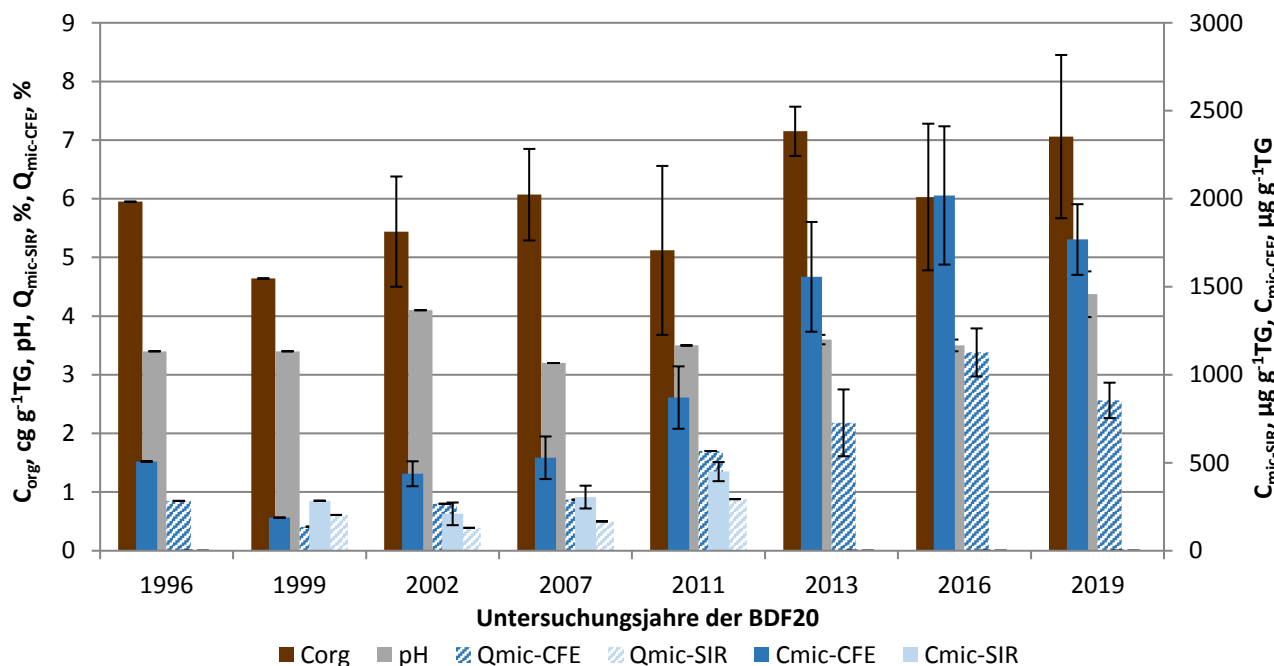


Abbildung 4.43: Ergebnisse der BDF20 (Mineraloberboden) der gesamten Untersuchungsjahre des organischen Kohlenstoffgehaltes (C_{org}), des pH-Wertes, der gesamten ($C_{mic-CFE}$) und der glucoseaktivierten ($C_{mic-SIR}$) mikrobiellen Biomasse und des Anteils dieser Biomasse am organischen Kohlenstoffgehalt ($Q_{mic-CFE}$ und $Q_{mic-SIR}$). Fehlerbalken stellen die Standardabweichung aus vier Einzelergebnissen dar.

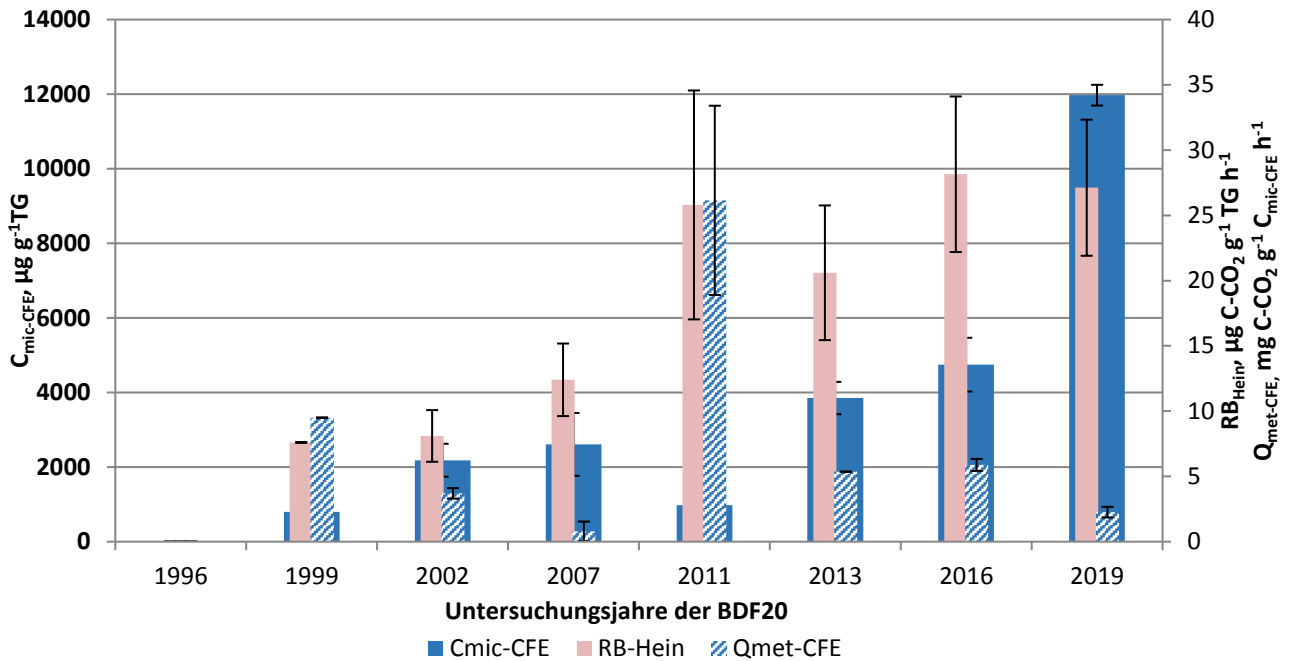


Abbildung 4.44: Ergebnisse der mikrobiellen Aktivität der BDF20 (organische Auflage) der gesamten Untersuchungsjahre, dargestellt anhand der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$), ihrer Basalatmung (R_{B-Hein}) und der mikrobiellen Aktivität ($Q_{met-CFE}$) bezogen auf das Trockengewicht.

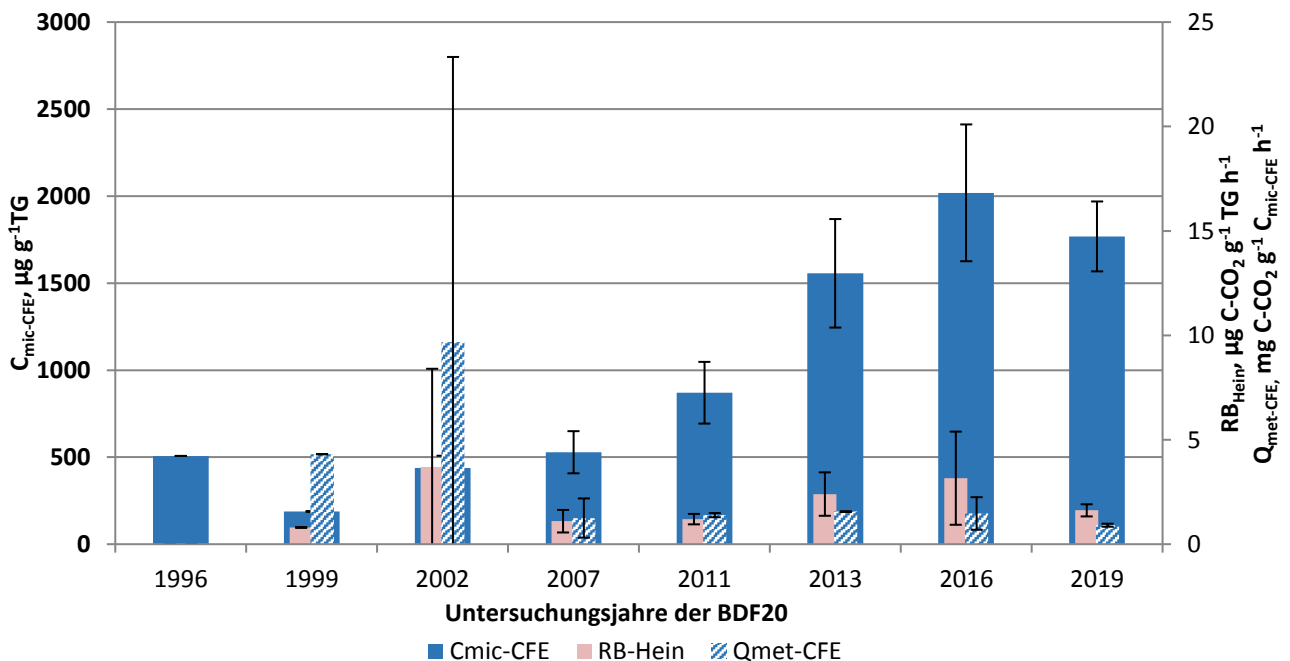


Abbildung 4.45: Ergebnisse der mikrobiellen Aktivität der BDF20 (Mineraloberboden) der gesamten Untersuchungsjahre, dargestellt anhand der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$), ihrer Basalatmung (R_{B-Hein}) und der mikrobiellen Aktivität ($Q_{met-CFE}$) bezogen auf das Trockengewicht.

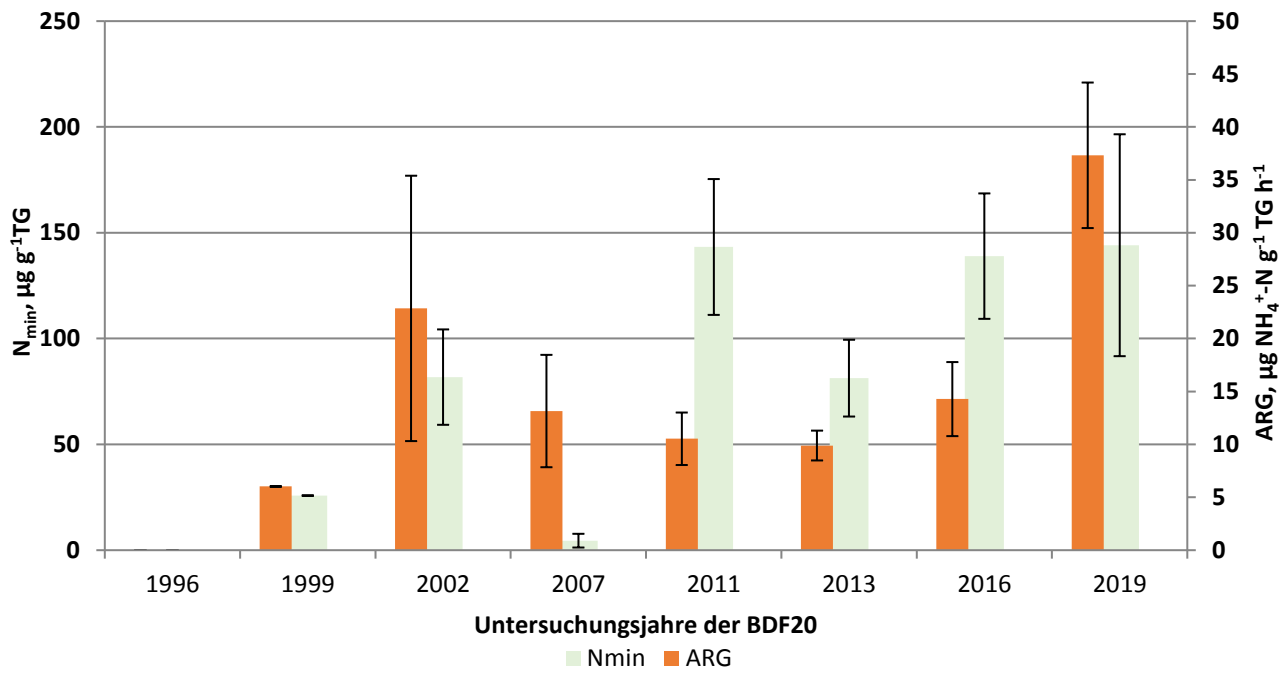


Abbildung 4.46: Darstellung des löslichen Stickstoffs (N_{min}) und der Argininammonifikation (ARG) der gesamten Untersuchungsjahre der BDF20 (organische Auflage).

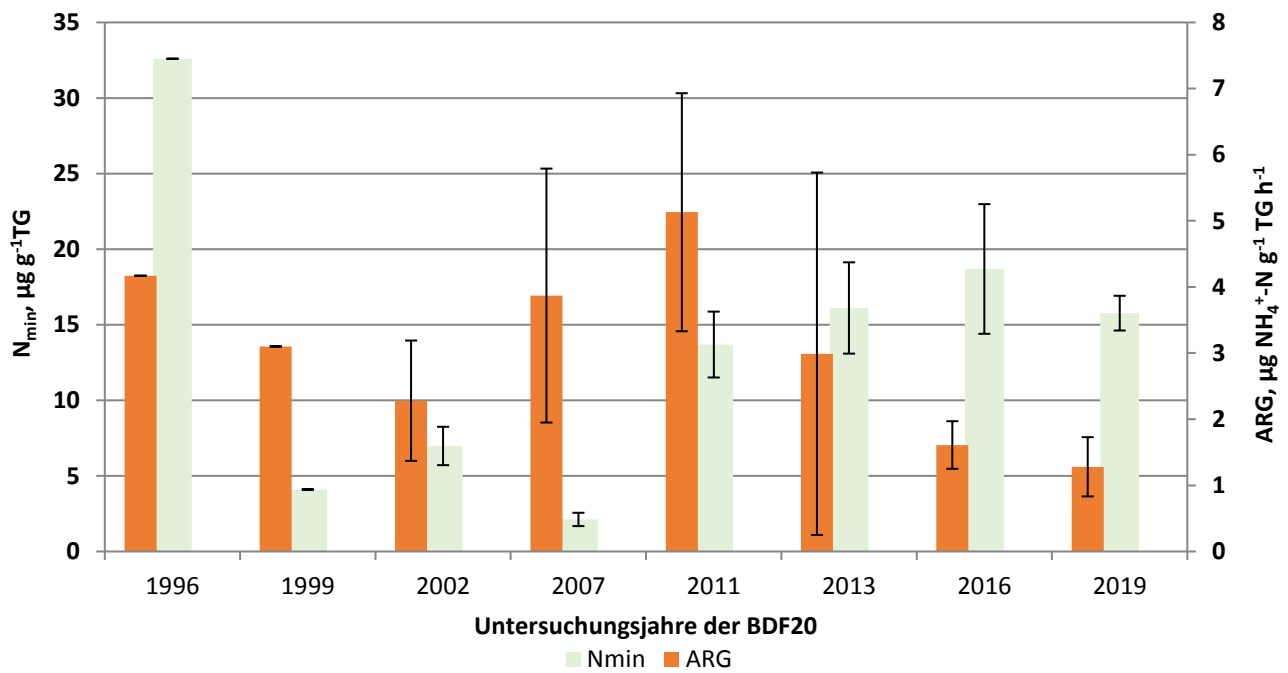


Abbildung 4.47: Darstellung des löslichen Stickstoffs (N_{min}) und der Argininammonifikation (ARG) der gesamten Untersuchungsjahre der BDF20 (Mineraloberboden).

Tabelle 4.40: Vergleich von mikrobiologischen und abiotischen Analyseergebnissen aus den acht Beprobungsjahren der BDF20. Angegeben ist jeweils der Mittelwert aus mindestens drei Parallelen und, wenn berechnet, die Standardabweichung dieses Wertes. Eine genauere Beschreibung der Tabelle ist im Anhang A 7.

Jahr	Boden- horizont Tiefe, cm	C _{mic} -CFE	C _{mic} -SIR Hein	N _{mic} -CFE	R _B -Hein	ARG	Q _{met} -CFE R _B -Hein / C _{mic} -CFE	Q _{met} -SIR R _B -Hein / C _{mic} -SIR	N _{min}	C _{org}	N _t	C _{org} / N _t
		µg g ⁻¹ TG	µg g ⁻¹ TG	µg g ⁻¹ TG	µg CO ₂ -C g ⁻¹ TG h ⁻¹	µg NH ₄ ⁺ - N g ⁻¹ TG h ⁻¹	µg CO ₂ -C mg ⁻¹ C _{mic} - CFE h ⁻¹	µg CO ₂ -C mg ⁻¹ C _{mic} - SIR h ⁻¹	µg g ⁻¹ TG	cg g ⁻¹ TG	cg g ⁻¹ TG	
1996	A(e)h bis -3 cm	507	n.b.	53	n.b.	4,2	n.b.	n.b.	32,6	6,0	0,3	17,4
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
1999	O bis +1 cm	799	2144	316	7,6	6,0	9,5	3,5	25,8	23,9	1,4	16,9
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
1999	A(e)h bis -3 cm	188	284	45	0,8	3,1	4,3	2,9	4,1	4,6	0,4	13,3
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
2002	O bis +1 cm	2184	3464	360	8,1	22,9	3,7	2,7	81,8	15,7	1,0	15,4
		± 442	± 593	± 67	± 2,0	± 12,5	± 0,4	± 1,1	± 22,5	± 2,8	± 0,1	± 1,1
2002	A(e)h bis -3 cm	437	210	48	3,7	2,3	9,7	19,0	7,0	5,4	0,4	15,7
		± 71	± 64	n.b.	± 4,7	± 0,9	± 13,7	± 24,6	± 1,3	± 0,9	± 0,0	± 2,3
2007	O bis +1 cm	2609	2835	n.b.	12,4	13,2	0,8	0,6	4,5	27,9	1,2	22,7
		± 843	± 704	n.b.	± 2,8	± 5,3	± 0,8	± 0,3	± 3,2	± 4,8	± 0,1	± 4,7
2007	A(e)h bis -3 cm	528	305	n.b.	1,1	3,9	1,3	2,2	2,1	6,1	0,3	22,3
		± 121	± 65	n.b.	± 0,5	± 1,9	± 0,9	± 1,5	± 0,4	± 0,8	± 0,0	± 1,0
2011	O bis +1 cm	977	6502	n.b.	25,8	10,5	26,2	3,9	143,3	27,9	1,6	17,2
		± 54	± 1495	n.b.	± 8,8	± 2,5	± 7,3	± 0,6	± 32,1	± 3,4	± 0,2	± 0,7
2011	A(e)h bis -3 cm	870	450	n.b.	1,2	5,1	1,4	2,7	13,7	5,1	0,4	14,4
		± 177	± 54	n.b.	± 0,3	± 1,8	± 0,1	± 0,7	± 2,2	± 1,4	± 0,1	± 0,5
2013	O bis +1 cm	3851	n.b.	425	20,6	9,9	5,4	n.b.	81,3	24,9	1,4	17,9
		± 434	n.b.	± 148	± 5,2	± 1,4	± 0,8	n.b.	± 18,1	± 0,1	± 0,1	± 0,3
2013	A(e)h bis -3 cm	1556	n.b.	114	2,4	3,0	1,6	n.b.	16,1	7,2	0,5	14,0
		± 312	n.b.	± 24	± 1,0	± 2,7	± 0,3	n.b.	± 3,0	± 0,4	± 0,0	± 0,5
2016	Ofh bis +2,5cm	4747	n.b.	326	28,2	14,3	5,9	n.b.	139,0	25,6	1,4	18,6
		± 720	n.b.	± 38	± 6,0	± 3,5	± 0,5	n.b.	± 29,6	± 2,2	± 0,2	± 0,6
2016	A(e)h bis -2,4 cm	2019	n.b.	105	3,2	1,6	1,5	n.b.	18,7	6,0	0,4	14,9
		± 393	n.b.	± 21	± 2,2	± 0,4	± 0,8	n.b.	± 4,3	± 1,3	± 0,1	± 0,5
2019	Ofh bis +2,4cm	11972	n.b.	778	27,1	37,3	2,3	n.b.	144,1	35,4	1,7	21,1
		± 279	n.b.	± 262	± 5,2	± 6,9	± 0,4	n.b.	± 52,4	± 4,3	± 0,2	± 0,8
2019	A(e)h bis -2,5 cm	1768	n.b.	120	1,6	1,3	0,9	n.b.	15,8	7,1	0,5	15,2
		± 201	n.b.	± 13	± 0,3	± 0,4	± 0,1	n.b.	± 1,1	± 1,4	± 0,1	± 0,8

Fortsetzung: Tabelle 4.40

Jahr	Boden- horizont	C _{mic} -CFE / Fläche	C _{mic} -SIR / Fläche	N _{mic} -CFE / Fläche	R _B -Hein / Fläche	ARG / Fläche	Q _{mic} -CFE C _{mic} -CFE / C _{org}	Q _{mic} -SIR C _{mic} -SIR / C _{org}	N _{min} / Fläche	C _{org} / Fläche	N _t / Fläche	pH
	Tiefe, cm	g m ⁻²	g m ⁻²	g m ⁻²	mg CO ₂ -C m ⁻² h ⁻¹	mg NH ₄ ⁺ - N m ⁻² h ⁻¹	%	%	kg ha ⁻¹	g m ⁻²	g m ⁻²	
1996	A(e)h bis -3 cm	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,9	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	3,4
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
1999	O bis +1 cm	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,3	0,9	n.b.	n.b.	n.b.	4,0
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
1999	A(e)h bis -3 cm	10,8	16,3	2,6	46,6	178,3	0,4	0,6	2,4	n.b.	n.b.	3,4
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
2002	O bis +1 cm	16,6	26,3	2,7	61,4	173,7	1,4	2,2	6,2	1195	77	3,4
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
2002	A(e)h bis -3 cm	21,7	10,4	2,4	181,2	112,6	0,8	0,4	3,5	2693	172	4,1
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
2007	O bis +1 cm	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,9	1,0	n.b.	n.b.	n.b.	3,7
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	± 0,3
2007	A(e)h bis -3 cm	30,6	17,7	n.b.	64,8	224,5	0,9	0,5	1,2	3522	158	3,2
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
2011	O bis +1 cm	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,4	2,3	n.b.	n.b.	n.b.	3,7
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	± 0,1	± 0,5	n.b.	n.b.	n.b.	± 0,2
2011	A(e)h bis -3 cm	36,6	18,9	n.b.	51,0	215,8	1,7	0,9	5,8	2153	149	3,5
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
2013	O bis +1 cm	21,0	n.b.	2,2	109,8	56,2	1,6	n.b.	4,3	1382	77	4,1
		± 3,3	n.b.	± 0,7	± 22,2	± 18,2	± 0,2	n.b.	± 0,6	± 324	± 18	± 0,3
2013	A(e)h bis -3 cm	49,2	n.b.	3,6	74,3	86,6	2,2	n.b.	5,1	2276	164	3,6
		± 11,9	n.b.	± 0,9	± 26,7	± 65,9	± 0,3	n.b.	± 0,9	± 463	± 33	± 0,1
2016	Ofh bis +2,5 cm	26,1	n.b.	1,8	155,0	78,6	1,8	n.b.	7,7	1409	76	4,0
		± 4,0	n.b.	± 0,2	± 32,8	± 19,3	± 0,1	n.b.	± 1,6	± 120	± 8	± 0,1
2016	A(e)h bis -2,4 cm	64,5	n.b.	3,4	100,9	51,3	3,4	n.b.	6,0	1925	129	3,5
		± 12,6	n.b.	± 0,7	± 71,2	± 11,5	± 0,4	n.b.	± 1,4	± 399	± 22	± 0,1
2019	Ofh bis +2,4 cm	43,3	n.b.	2,8	98,1	135,0	3,4	n.b.	5,2	1281	61	4,9
		± 1,0	n.b.	± 0,9	± 18,9	± 24,9	± 0,4	n.b.	± 1,9	± 157	± 8	± 0,3
2019	A(e)h bis -2,5 cm	61,4	n.b.	4,2	56,2	44,5	2,6	n.b.	5,5	2451	161	4,4
		± 7,0	n.b.	± 0,5	± 10,1	± 15,6	± 0,3	n.b.	± 0,4	± 483	± 25	± 0,4

4.8.4 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zu abiotischen Standortfaktoren

Sowohl der Boden-pH als auch die Trockenrohdichte zeigen signifikante Korrelationen zu der Bodenmikrobiologie. Dabei korreliert der pH mit beiden metabolischen Quotienten (Q_{met}-CFE: r = 0,827, p < 0,05, N = 6, Q_{met}-SIR: r = 0,957, p < 0,05, N = 4). Bei niedrigeren pH-Werten zeigte die mikrobielle

Biomasse somit tendenziell höhere Effizienzen, wobei der Zusammenhang für die glucoseaktivierte mikrobielle Biomasse leicht stärker war. Die Trockenrohddichte korreliert mit dem Gehalt der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse und deren Quotienten ($C_{\text{mic-SIR}}$: $r = 0,996$, $p < 0,01$, $N = 4$, $Q_{\text{mic-SIR}}$: $r = 0,968$, $p < 0,05$, $N = 4$). Daraus folgt, dass die Gehalte der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse bei höheren Lagerungsdichten auch tendenziell höher waren.

Im Vergleich aller Waldstandorte weist die BDF20 mit den höchsten Kohlenstoff- und Stickstoffgehalten sowie mit dem höchsten pH auch die höchsten bodenmikrobiologischen Gehalte und Aktivitäten auf.

4.8.5 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zum Klima und zur Witterung

Es zeigen sich keine statistisch signifikanten Beziehungen zwischen dem Klima und den bodenmikrobiologischen Parametern. Bei den Gehalten der mikrobiellen Biomasse zeigt sich jedoch, dass diese zwischen den Jahren 1999 und 2016 kontinuierlich angestiegen sind, während die Vorjahresniederschläge zwischen 1999 und 2013 kontinuierlich gesunken sind. Möglicherweise wurde der $C_{\text{mic-CFE}}$ -Anstieg zwischen den Untersuchungsjahren 2011 und 2016 zusätzlich durch die abnehmenden Temperaturdifferenzen zwischen den Sommer- und Winterhalbjahren der Vorjahre begünstigt.

4.8.6 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Bewirtschaftung

Die Bewirtschaftung des Waldes erfolgt durch Einzelentnahmen von Bäumen. Dies kann partiell zu einer Erhöhung der Bodentemperatur durch stärkere Sonneneinstrahlung sowie zu einer Absenkung des Grundwasserstandes durch verringerten Sog führen. Für das Wachstum der Bodenmikroorganismen kann dies je nach Stärke der Veränderungen auch positive Effekte haben.

4.8.7 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Vegetationskunde

Die Vegetation, bestehend aus einem Perlgras-Buchenwald, liefert eine vergleichsweise stickstoffreiche, gut zersetzbare Streu, mit einem relativ engen $C_{\text{org}}/N_{\text{t}}$ -Verhältnis. Auf diese Weise wird auch der Mineraloberboden gut mit Stickstoff versorgt. Zudem zeigt die Pflanzengesellschaft einen stickstoffreichen Standort an. Die gute Stickstoffversorgung fördert das mikrobielle Wachstum. Die BDF20 hat aufgrund dessen die höchste mikrobielle Biomasse aller Waldstandorte. Der lichte Baumbestand erhöht zudem die Einstrahlung der Sonne, die Humusaufgabe wirkt zusätzlich isolierend, was insgesamt ein wärmeres Bodenklima und eine höhere mikrobielle Aktivität begünstigt.

4.8.8 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Bodenzöologie

Aus den bodenzöologischen Untersuchungen geht hervor, dass die Biomasse tiefgrabender Regenwürmer zwischen den Jahren 1993 und 2006 kontinuierlich angestiegen ist, und sich anschließend zum Jahr 2012 deutlich reduzierte, während die Biomasse der streubewohnenden Arten bis 2006 abnahm und bis zum Jahr 2012 erneut anstieg. Die bodenmikrobiologischen Analysen zeigen hingegen seit dem Jahr 1999 einen kontinuierlichen Zuwachs der gesamten mikrobiellen Biomasse ($C_{\text{mic-CFE}}$) im Mineraloberboden bis zum Untersuchungsjahr 2016. Zwischen 2012 und 2018 zeigte sich eine Abnahme der Siedlungsdichten der Regen- und Kleinringelwürmer, was jedoch nicht der Entwicklung der mikrobiellen Biomasse zwischen 2013 und 2019 entspricht.

4.9 BDF32 Hahnheide

4.9.1 Situation bei der Probenentnahme

Tabelle 4.41: Temperatur und Niederschlag zum Jahreswechsel 2018/2019 an der BDF32. Monatsdurchschnittstemperatur in °C, Monatsniederschlagssumme in mm.

Jahr	Monat	Monatsdurchschnitts- temperatur, °C	Niederschlag, mm/Monat
2018	Oktober	11	30
	November	5,6	18
	Dezember	5	92
2019	Januar	1,8	63
	Februar	4,8	32
	März	6,8	89
Dez. 18 - Feb. 19		3,9	187

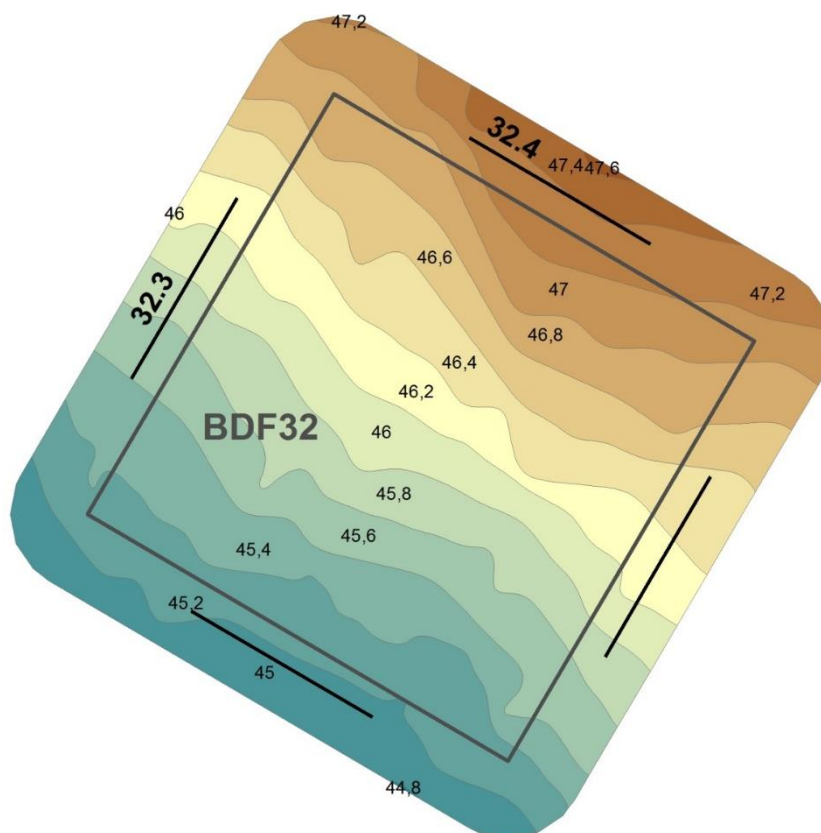


Abbildung 4.48: Lage der Probenentnahmestellen an der BDF32 (32.1-4).

Tabelle 4.42: Bedingungen während der Probenentnahme an der BDF32 (Probenentnahmeprotokoll). Für die Witterungsverhältnisse und die Bodenbeschaffenheit sind die Abkürzungen nach Ad-Hoc-ARBEITSGRUPPE BODEN, 2005, angegeben.

Bearbeiter	Herr Dr. Elsner
Datum	04.03.2019
Beginn	09:00 Uhr
Temp., GOF	10,6°C
Temp., 10cm	6,4°C
Tage ohne Frost	4 Tage
Niederschlag	mäß. Niederschläge seit 24 Std.
Bodenfeuchte	feucht, steif
Baumbestand, Alter	jung/alt
Baumbestand, Einheitlichkeit	Reinbestand
Kronenschluß	Baumbestand gedrängt/ geschlossen
Baumart, dominierend	Buche
Baumart, begleitend	Fichte
Frühlingsblüher	
Bodenvegetation, Zusammensetz.	
Bodenvegetation, Einheitlichkeit	einheitlich
Bodenvegetation, Höhe	<5 cm
Bodenvegetation, Deckung	geschlossen, <25% freier Boden
Bewirtschaftungsmaßn.	
Störung des Bodens	
Bemerkung	randlich Fällarbeiten

4.9.2 Analyseergebnisse und Klassifikation

Die BDF32 Hahnheide befindet sich auf einem Altmoränenkomplex des Östlichen Hügellandes in einem Laubwald mit einer Buchen-Drahtschmielenvegetation. Die Bodenform ist Podsol-Braunerde aus pleistozäner Fließerde. Die abiotischen Analyseergebnisse sind in der Tabelle 4.43, die bodenmikrobiologischen Parameter in der Tabelle 4.44 dargestellt.

Humusauflage

Die Humusauflage (feinhumusreicher Moder bis feinhumusarmer Moder, 5,3 cm mächtig) der BDF32 ist im Waldvergleich durch den niedrigsten Gehalt organischen Kohlenstoffs (C_{org}) sowie durch den niedrigsten Gehalt des Gesamtstickstoffs (N_t) gekennzeichnet. Daraus resultiert eines der engeren C_{org}/N_t -Verhältnisse im Vergleich der Waldstandorte. Der Gehalt der löslichen Stickstoffverbindungen (N_{min}) ist auf dieser BDF mittel hoch für Humusauflagen. Dabei entfallen etwa 80 % auf Ammonium und etwa 20 % auf Nitrat. Der pH liegt auch hier im extrem sauren Bereich.

Die Humusaufgabe der BDF32 weist einen für Humusaufgaben sehr hohen Gehalt der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$) auf und einen mittel hohen Gehalt des mikrobiellen Stickstoffs ($N_{mic-CFE}$). Die Basalatmung (R_{B-Hein}) ist sehr niedrig. Sowohl die Argininammonifikation (ARG) als auch der mikrobielle Quotient ($Q_{mic-CFE}$) sind durch sehr hohe Werte gekennzeichnet. Der metabolische Quotient ($Q_{met-CFE}$) wird an diesem Standort hingegen als sehr niedrig eingestuft.

Mineraloberboden

Der Mineraloberboden (Aeh, bis 2,5 cm Tiefe) der BDF32 wird nach Ad hoc AG-Boden (2005) als stark humos eingestuft, weist jedoch den niedrigsten Gehalt organischen Kohlenstoffs (C_{org}) von allen Laubwald-BDF auf. Auch der Gesamtstickstoffgehalt (N_t) zählt zu den eher geringeren N_t -Gehalten, so dass sich aus dem C_{org}/N_t -Verhältnis mit 21 eine geringe Humusqualität ergibt. Der Gehalt der löslichen Stickstoffverbindungen (N_{min}) ist für sandige Waldböden mittel hoch und setzt sich zu etwa 60 % aus Ammonium und zu etwa 40 % aus Nitrat zusammen. Der Boden-pH-Wert wird mit 3,1 als extrem sauer eingestuft. Die Trockenrohdichte des Mineraloberbodens entspricht der Einstufung als gering.

Die BDF32 besitzt im Mineraloberboden den niedrigsten Gehalt der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$) im Vergleich der Laubwald-BDF. Dennoch gilt die Einstufung des $C_{mic-CFE}$ -Gehaltes als hoch für sandige Waldböden. Der Gehalt des mikrobiellen Stickstoffs (N_t) und die Basalatmung (R_{B-Hein}) sind durch mittel hohe Werte gekennzeichnet. Die Argininammonifikation (ARG) und der mikrobielle Quotient ($Q_{mic-CFE}$) weisen hohe Werte auf. Der metabolische Quotient ($Q_{met-CFE}$) ist dagegen sehr niedrig.

Tabelle 4.43: Ergebnisse der bodenchemischen Analyse 2019 der BDF32 (Hahnheide). Aufgeführt sind der organische Kohlenstoffgehalt (C_{org}) und der Gesamtstickstoffgehalt (N_t) in $cg\ g^{-1}TG$, sowie das Verhältnis von organischem Kohlenstoff zu Stickstoff im Boden (C_{org} / N_t), der gelöste Stickstoffgehalt (N_{min}) berechnet aus der Summe von Ammonium (NH_4^+-N), Nitrit ($NO_2^- - N$) und Nitrat ($NO_3^- - N$), die Trockenrohdichte in $g\ TG\ cm^{-3}$, der Wassergehalt in $mg\ g^{-1}\ TG$ und der pH gemessen in $CaCl_2$. Die Werte stellen jeweils den Mittelwert aus acht Parallelen dar und sind mit der Standardabweichung angegeben. Farbkodierungen zur Bewertung siehe Anhang Tabelle A 2, A 3, A 4 und A 5.

Boden-horizont	C_{org}	N_t	C_{org} / N_t	N_{min}	NH_4^+-N	$NO_2^- - N$	$NO_3^- - N$
Tiefe, cm	$cg\ g^{-1}\ TG$	$cg\ g^{-1}\ TG$		$\mu g\ g^{-1}\ TG$	$\mu g\ g^{-1}\ TG$	$\mu g\ g^{-1}\ TG$	$\mu g\ g^{-1}\ TG$
Of&Oh bis +5,3 cm	19,7 $\pm 3,4$	1,0 $\pm 0,1$	19,6 $\pm 0,8$	22,3 $\pm 1,8$	18,5 $\pm 3,5$	0,0 $\pm 0,0$	3,8 $\pm 1,9$
Aeh bis -2,5 cm	3,3 $\pm 0,4$	0,2 $\pm 0,0$	20,7 $\pm 0,9$	3,1 $\pm 0,6$	1,9 $\pm 0,5$	0,0 $\pm 0,0$	1,2 $\pm 0,3$

Boden-horizont	$C_{org} / \text{Fläche}$	$N_t / \text{Fläche}$	$N_{min} / \text{Fläche}$	$N_{min} / \text{Fläche}$	Trockenroh-dichte	Wasser-gehalt	pH
Tiefe, cm	$g\ m^{-2}$ Horizonttiefe	$g\ m^{-2}$ Horizonttiefe	$g\ m^{-2}$ Horizonttiefe	$kg\ N\ ha^{-1}$ Horizonttiefe	$g\ TG\ cm^{-3}$	$mg\ g^{-1}\ TG$	
Of&Oh bis +5,3 cm	3620 ± 631	184 ± 25	0,4 $\pm 0,0$	4,1 $\pm 0,3$	0,3 $\pm n.b.$	985 ± 77	3,0 $\pm 0,0$
Aeh bis -2,5 cm	1038 ± 138	50 ± 6	0,1 $\pm 0,0$	1,0 $\pm 0,2$	1,3 $\pm n.b.$	246 ± 12	3,1 $\pm 0,1$

Tabelle 4.44: Ergebnisse der bodenmikrobiologischen Analyse 2019 der BDF32 (Hahnheide). Aufgeführt ist der mikrobielle Kohlenstoffgehalt, gemessen mit der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($C_{mic-CFE}$) und über die Substratinduzierte Atmung (SIR) mit der Heinemeyeraanalyse ($C_{mic-SIR}$), außerdem der mikrobielle Stickstoffgehalt, gemessen mit der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($N_{mic-CFE}$). Angegeben sind weiterhin die mikrobielle Basalatmung, gemessen als CO_2 -Produktionsrate mithilfe der Heinemeyeraanalyse (R_{B-Hein}) und die potentielle Ammonifikation nach der Arginin-Ammonifikationsmethode (ARG). Des weiteren sind der metabolische Quotient und der mikrobielle Quotient jeweils aus den Ergebnissen der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($C_{mic-CFE}$) und der Heinemeyeraanalyse ($C_{mic-SIR}$) berechnet. Die Werte stellen jeweils den Mittelwert aus acht Parallelen dar und sind mit der Standardabweichung angegeben. Farbkodierungen siehe Anhang A 6. Im unteren Teil der Tabelle sind die verschiedenen Parameter bezogen auf die Fläche angegeben.

Boden-horizont	$C_{mic-CFE}$	$C_{mic-SIR}$	$N_{mic-CFE}$	R_{B-Hein}	ARG	$Q_{mic-CFE}$ $C_{mic-CFE} / C_{org}$	$Q_{mic-SIR}$ $C_{mic-SIR} / C_{org}$
Tiefe, cm	$\mu g\ g^{-1} TG$	$\mu g\ g^{-1} TG$	$\mu g\ g^{-1} TG$	$\mu g\ CO_2-C$ $g^{-1} TG\ h^{-1}$	$\mu g\ NH_4^{+}-N$ $g^{-1} TG\ h^{-1}$	%	%
Of&Oh bis +5,3 cm	4512	n.b.	169	2,1	27,5	2,3	n.b.
	± 293	$\pm n.b.$	± 20	$\pm 0,3$	$\pm 2,7$	$\pm 0,2$	$\pm n.b.$
Aeh bis -2,5 cm	798	n.b.	25	0,4	1,9	2,4	n.b.
	± 78	$\pm n.b.$	± 3	$\pm 0,0$	$\pm 0,1$	$\pm 0,3$	$\pm n.b.$

Boden-horizont	$C_{mic-CFE} /$ Fläche	$C_{mic-SIR} /$ Fläche	$N_{mic-CFE} /$ Fläche	$R_{B-Hein} /$ Fläche	ARG / Fläche	$Q_{met-CFE}$ $R_{B-Hein} / C_{mic-CFE}$	$Q_{met-SIR}$ $R_{B-Hein} / C_{mic-SIR}$
Tiefe, cm	$g\ m^{-2}$ Horizonttiefe	$g\ m^{-2}$ Horizonttiefe	$g\ m^{-2}$ Horizonttiefe	$mg\ CO_2-C$ $m^{-2}\ h^{-1}$ Horizonttiefe	$mg\ NH_4^{+}-N$ $m^{-2}\ h^{-1}$ Horizonttiefe	$\mu g\ CO_2-C$ $mg^{-1} C_{mic-CFE}\ h^{-1}$	$\mu g\ CO_2-C$ $mg^{-1} C_{mic-SIR}\ h^{-1}$
Of&Oh bis +5,3 cm	83	n.b.	3,1	39	504	0,5	n.b.
	± 5	$\pm n.b.$	$\pm 0,4$	± 5	± 50	$\pm 0,1$	$\pm n.b.$
Aeh bis -2,5 cm	25	n.b.	0,8	13	58	0,5	n.b.
	± 2	$\pm n.b.$	$\pm 0,1$	± 1	± 3	$\pm 0,0$	$\pm n.b.$

4.9.3 Zeitreihenvergleich

Humusaufgabe

Die Beprobung der Humusaufgabe änderte sich von 3 cm Mächtigkeit auf 6,1 cm zwischen den Untersuchungen 2013 und 2016. Der Gehalt organischen Kohlenstoffs (C_{org}) wies im nahezu gesamten Untersuchungszeitraum eine abnehmende Entwicklung auf (Abbildung 4.49). Von dem Höchstwert im Jahr 1999 nahm der C_{org} -Gehalt bis zum Jahr 2013 kontinuierlich ab. Zum Untersuchungsjahr 2016 zeigte sich, trotz Änderung der Beprobungstiefe, eine lediglich geringfügige Zunahme im C_{org} -Gehalt, welche sich auch zum Jahr 2019 fortsetzte. Der pH-Wert in der Humusaufgabe blieb über die Jahre weitgehend konstant, einzig zum Jahr 2002 zeigte sich ein vorübergehender Anstieg des pH-Wertes.

Der Gehalt der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$) stieg zwischen den Jahren 1999 und 2002 deutlich an. Bis zum Jahr 2007 verringerte sich der $C_{mic-CFE}$ -Gehalt jedoch stark. Zum darauffolgenden Untersuchungsjahr 2013 stieg die mikrobielle Biomasse deutlich an und nahm zum Untersuchungsjahr 2016, trotz Änderung der Beprobungstiefe, lediglich geringfügig ab. Zum Jahr 2019 nahm der $C_{mic-CFE}$ -Gehalt sehr stark zu. Die gleiche zeitliche Entwicklung nahm auch der mikrobielle Quotient ($Q_{mic-CFE}$). Der Gehalt der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$) wurde zwischen den Jahren 1999 und 2011 untersucht und zeigte in diesem Zeitraum sich jeweils abwechselnde Zu- und Abnahmen. Der höchste Wert entfällt dabei auf das Jahr 2002, während das darauffolgende Untersuchungsjahr 2007 durch den niedrigsten $C_{mic-SIR}$ -Gehalt gekennzeichnet ist. Der mikrobielle Quotient der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{mic-SIR}$) entwickelte sich analog zum $C_{mic-SIR}$ -Gehalt.

Die Basalatmung (R_{B-Hein}) in der Humusaufgabe der BDF32 reduzierte sich zunächst zwischen den Jahren 1999 und 2007 deutlich (Abbildung 4.51). Dem folgte eine Zunahme der Basalatmung zum Jahr 2013. Zwischen den Jahren 2013 und 2016 nahm die Basalatmung erneut ab. Der metabolische Quotient ($Q_{met-CFE}$) zeigte im zeitlichen Verlauf eine starke Abnahme zwischen den Jahren 1999 und 2007, einen sehr starken Anstieg zum Jahr 2011 sowie erneut eine starke Abnahme zum Untersuchungsjahr 2016. Zum Jahr 2019 setzte sich die Abnahme beider Parameter weiter fort.

Die Gehalte des mineralischen Stickstoffs (N_{min}) stiegen zwischen den Jahren 1999 und 2002 sehr stark an und erreichten 2002 den bisherigen Höchstwert (Abbildung 4.53). Zum Jahr 2007 erfolgte eine erneut sehr starke Abnahme des N_{min} -Gehaltes. Seit 2007 stieg der N_{min} -Gehalt bis zum Untersuchungsjahr 2016 nahezu beständig an. Die Argininammonifikation (ARG) entwickelte sich zunächst abnehmend zwischen den Jahren 1999 und 2002. Zum Jahr 2011 folgte eine starke Zunahme der ARG auf einen vorläufigen Höchstwert. Zum Untersuchungsjahr 2013 nahm die Argininammonifikation erneut stark ab und verdoppelte sich zum Untersuchungsjahr 2016. Während die ARG zum Jahr 2019 sehr stark auf einen Höchstwert anstieg, nahmen die N_{min} -Gehalte erneut ab.

Mineraloberboden

Die Beprobung des Mineralbodens änderte sich von 3 cm Tiefe auf 2,6 cm zwischen den Untersuchungen 2013 und 2016. Der Gehalt des organischen Kohlenstoffs (C_{org}) im Mineraloberboden nahm zunächst zwischen den Jahren 1996 und 2002 stark ab. Zum darauffolgenden Untersuchungsjahr 2007 erfolgte eine starke Zunahme des C_{org} -Gehalts. Anschließend reduzierte sich der C_{org} -Gehalt erneut zum Jahr 2011 und zeigte nur vergleichsweise leichte Schwankungen bis zum Untersuchungsjahr 2019. Der Boden-pH-Wert war im gesamten Untersuchungszeitraum konstant niedrig, wies jedoch im Jahr 2002 eine Spitze auf (Abbildung 4.50).

Der Gehalt der mikrobiellen Biomasse ($C_{\text{mic-CFE}}$) zeigte nach einer starken Abnahme zwischen den Jahren 1996 und 1999 eine beständige Zunahme im Zeitraum der Jahre 2002 bis 2019 bis zum Höchstwert im aktuellen Untersuchungsjahr. Diese Entwicklung zeigte sich im Wesentlichen auch bei dem mikrobiellen Quotienten ($Q_{\text{mic-CFE}}$). Der Gehalt der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse, welcher zwischen 1999 und 2011 untersucht wurde, zeigte in diesem Zeitraum eine deutliche Abnahme bis zum Jahr 2007 und einen anschließenden Anstieg zum Jahr 2011. Dagegen zeigte der mikrobielle Quotient der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{\text{mic-SIR}}$) eine Entwicklung mit sich abwechselnden Zu- und Abnahmen.

Die Basalatmung ($R_{\text{B-Hein}}$) im Mineraloberboden nahm über den gesamten Untersuchungszeitraum nahezu beständig ab und erreichte im Untersuchungsjahr 2016 den niedrigsten Wert (Abbildung 4.52). Der gleiche Entwicklungstrend trifft ebenso auf den metabolischen Quotienten ($Q_{\text{met-CFE}}$) zu. Zum Jahr 2019 blieben beide Parameter nahezu unverändert.

Der Gehalt des mineralischen Stickstoffs (N_{min}) reduzierte sich zwischen den Jahren 1996 und 1999 sehr stark, stieg dann aber zum darauffolgenden Untersuchungsjahr 2002 auf das vorherige Niveau erneut an (Abbildung 4.54). Es folgte erneut eine sehr starke Abnahme des mineralischen Stickstoffs zum Jahr 2007. Die weitere Entwicklung erfolgte auf einem niedrigen Niveau mit leichten Schwankungen bis zum Untersuchungsjahr 2016. Die Argininammonifikation (ARG) im Mineraloberboden zeigte ihren Höchstwert im Jahr der Erstuntersuchung 1996. Bis zum Jahr 2007 erfolgte eine starke Abnahme der ARG, welche von einer deutlichen Zunahme zum Jahr 2011 gefolgt wurde. Zum Jahr 2013 nahm die ARG erneut stark ab und änderte sich zum Untersuchungsjahr nicht wesentlich. Während die Argininammonifikation zum Jahr 2019 erneut zugenommen hat, nahmen die N_{min} -Gehalte geringfügig ab.

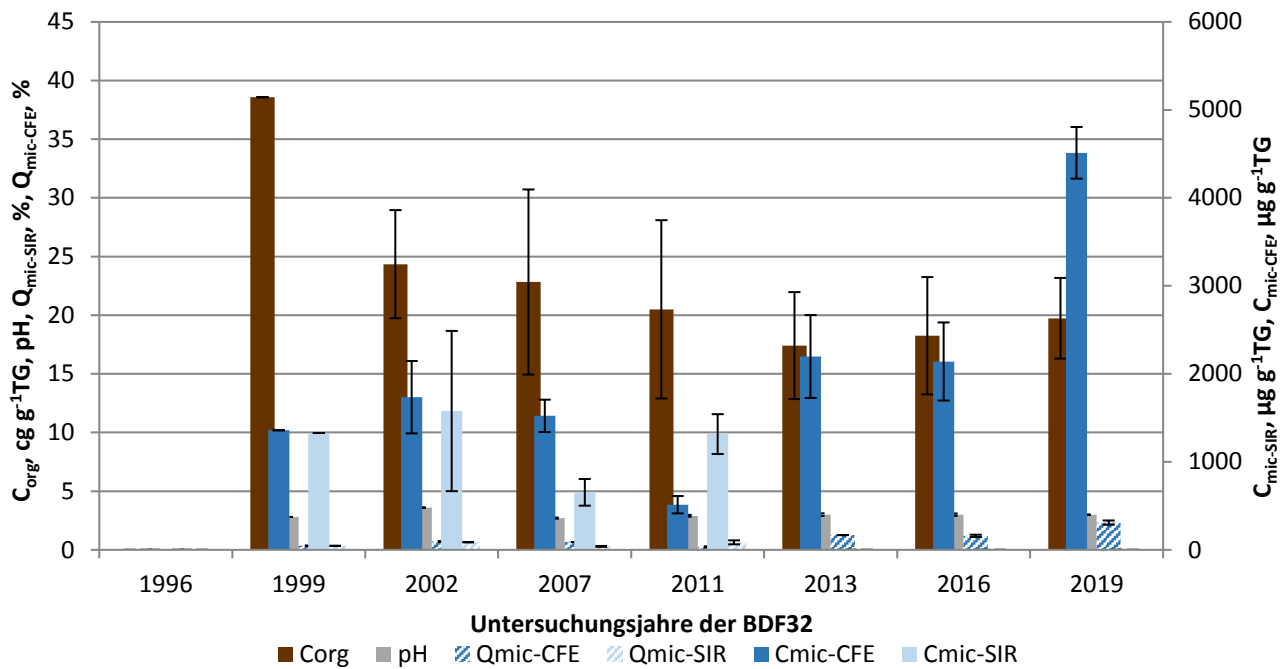


Abbildung 4.49: Ergebnisse der BDF32 (organische Auflage) der gesamten Untersuchungsjahre des organischen Kohlenstoffgehaltes (C_{org}), des pH-Wertes, der gesamten ($C_{mic-CFE}$) und der glucoseaktivierten ($C_{mic-SIR}$) mikrobiellen Biomasse und des Anteils dieser Biomasse am organischen Kohlenstoffgehalt ($Q_{mic-CFE}$ und $Q_{mic-SIR}$). Fehlerbalken stellen die Standardabweichung aus vier Einzelergebnissen dar.

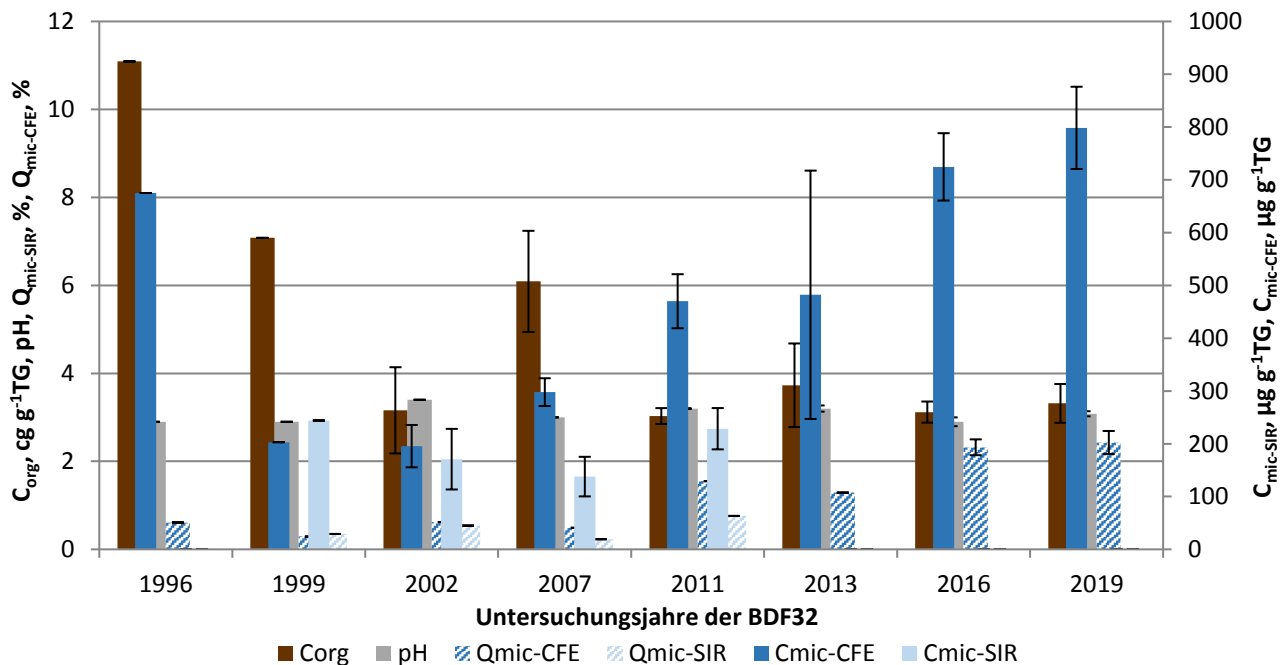


Abbildung 4.50: Ergebnisse der BDF32 (Mineraloberboden) der gesamten Untersuchungsjahre des organischen Kohlenstoffgehaltes (C_{org}), des pH-Wertes, der gesamten ($C_{mic-CFE}$) und der glucoseaktivierten ($C_{mic-SIR}$) mikrobiellen Biomasse und des Anteils dieser Biomasse am organischen Kohlenstoffgehalt ($Q_{mic-CFE}$ und $Q_{mic-SIR}$). Fehlerbalken stellen die Standardabweichung aus vier Einzelergebnissen dar.

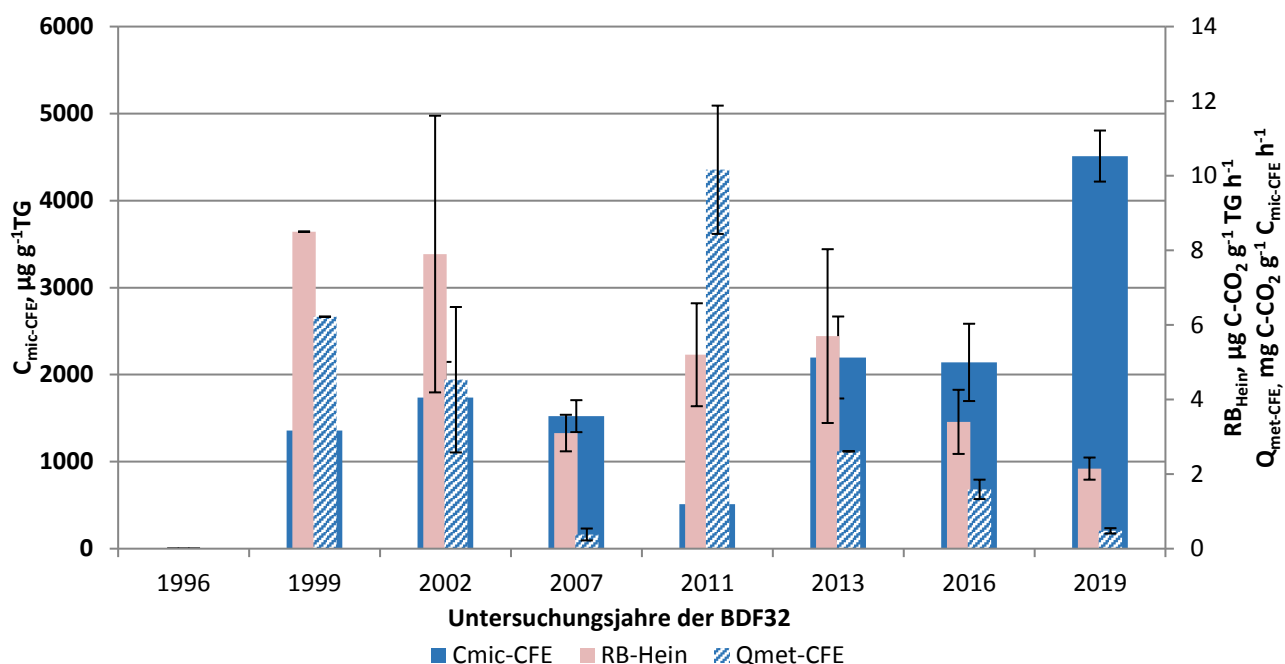


Abbildung 4.51: Ergebnisse der mikrobiellen Aktivität der BDF32 (organische Auflage) der gesamten Untersuchungsjahre, dargestellt anhand der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$), ihrer Basalatmung (R_{B-Hein}) und der mikrobiellen Aktivität ($Q_{met-CFE}$) bezogen auf das Trockengewicht.

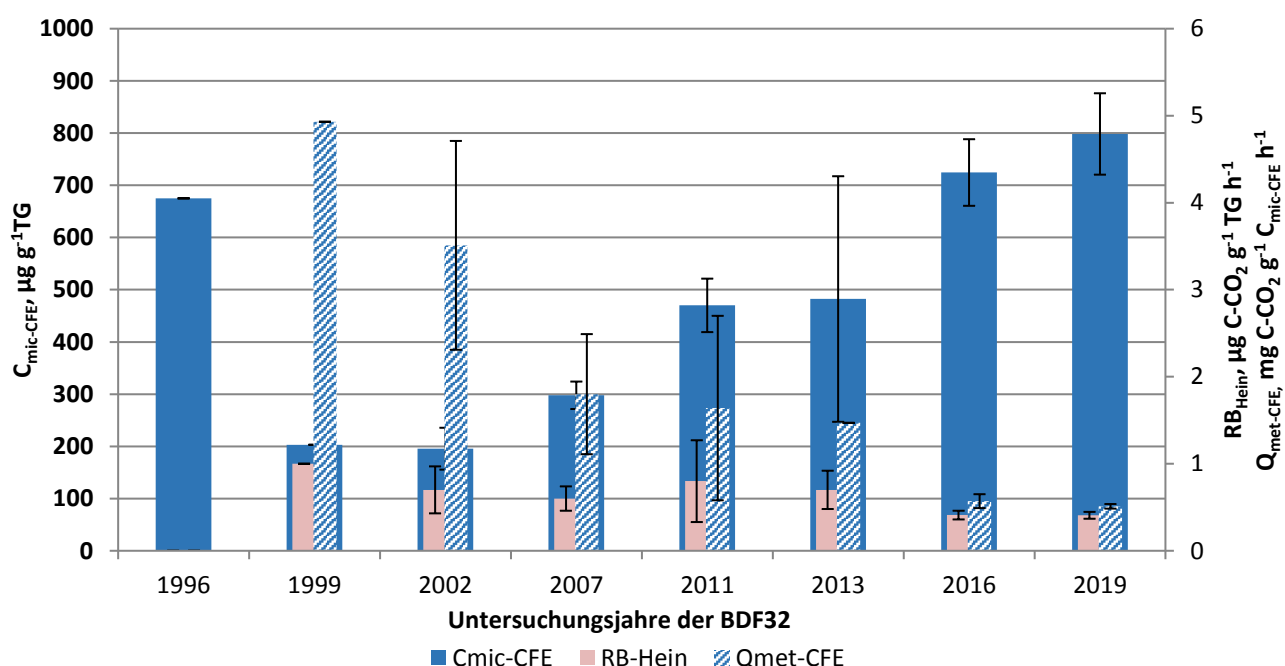


Abbildung 4.52: Ergebnisse der mikrobiellen Aktivität der BDF32 (Mineraloberboden) der gesamten Untersuchungsjahre, dargestellt anhand der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$), ihrer Basalatmung (R_{B-Hein}) und der mikrobiellen Aktivität ($Q_{met-CFE}$) bezogen auf das Trockengewicht.

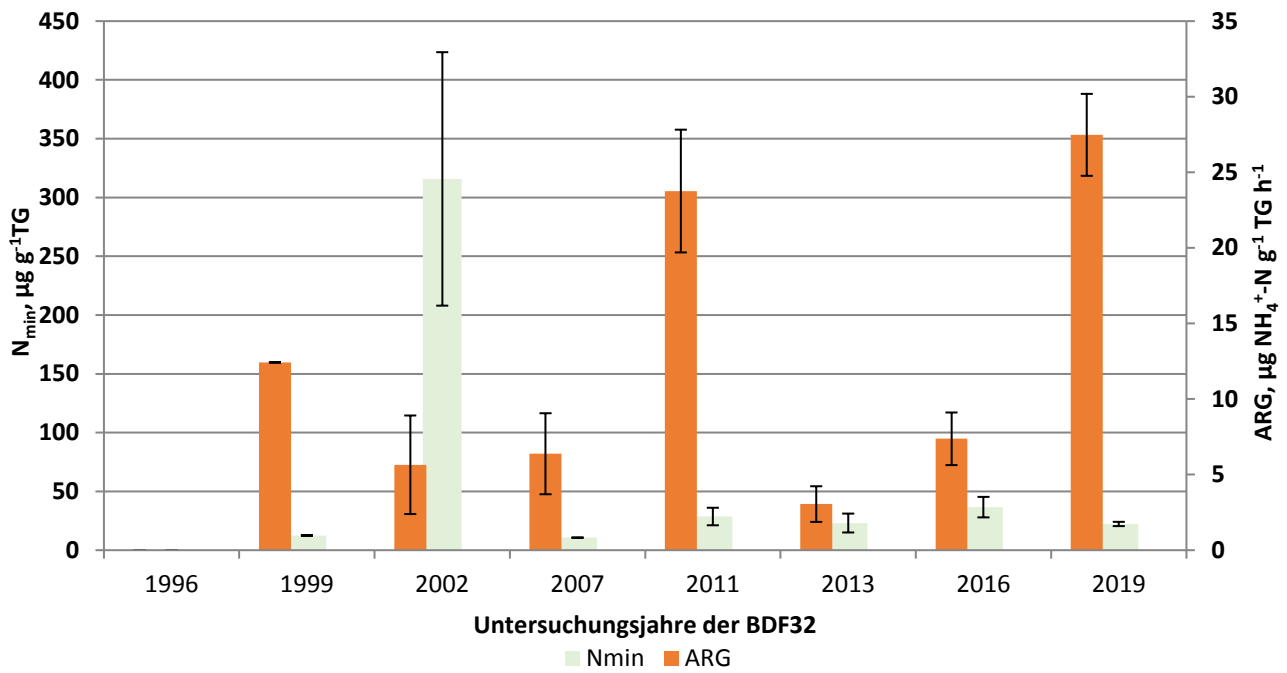


Abbildung 4.53: Darstellung des löslichen Stickstoffs (N_{min}) und der Argininammonifikation (ARG) der gesamten Untersuchungsjahre der BDF32 (organische Auflage).

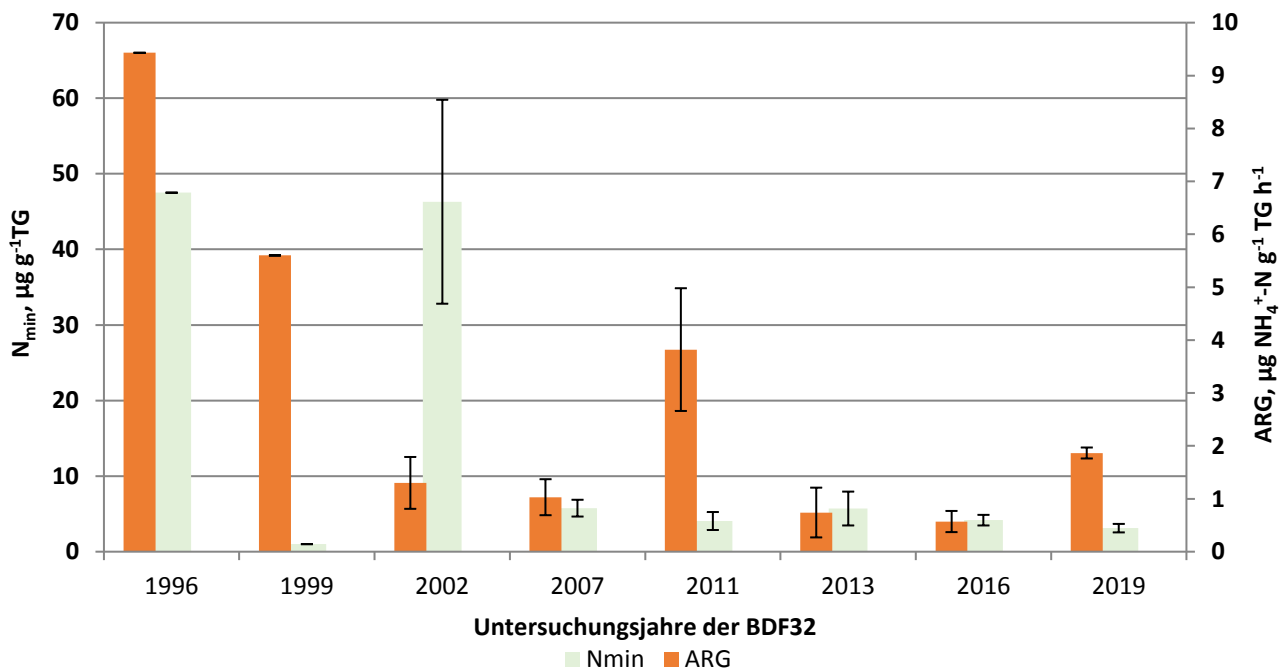


Abbildung 4.54: Darstellung des löslichen Stickstoffs (N_{min}) und der Argininammonifikation (ARG) der gesamten Untersuchungsjahre der BDF32 (Mineraloberboden).

Tabelle 4.45: Vergleich von mikrobiologischen und abiotischen Analyseergebnissen aus den acht Beprobungsjahren der BDF32. Angegeben ist jeweils der Mittelwert aus mindestens drei Parallelen und, wenn berechnet, die Standardabweichung dieses Wertes. Eine genauere Beschreibung der Tabelle ist im Anhang A 7.

Jahr	Boden- horizont	C _{mic} -CFE	C _{mic} -SIR Hein	N _{mic} -CFE	R _B -Hein	ARG	Q _{met} -CFE R _B -Hein / C _{mic} -CFE	Q _{met} -SIR R _B -Hein / C _{mic} -SIR	N _{min}	C _{org}	N _t	C _{org} / N _t
	Tiefe, cm	µg g ⁻¹ TG	µg g ⁻¹ TG	µg g ⁻¹ TG	µg CO ₂ -C g ⁻¹ TG h ⁻¹	µg NH ₄ ⁺ - N g ⁻¹ TG h ⁻¹	µg CO ₂ -C mg ⁻¹ C _{mic} - CFE h ⁻¹	µg CO ₂ -C mg ⁻¹ C _{mic} - SIR h ⁻¹	µg g ⁻¹ TG	cg g ⁻¹ TG	cg g ⁻¹ TG	
1996	Ae bis -3 cm	675 n.b.	n.b. n.b.	115 n.b.	n.b. n.b.	9,4 n.b.	n.b. n.b.	n.b. n.b.	47,5 n.b.	11,1 n.b.	0,5 n.b.	22,4 n.b.
1999	O bis +3 cm	1359 n.b.	1328 n.b.	531 n.b.	8,5 n.b.	12,4 n.b.	6,2 n.b.	6,4 n.b.	12,5 n.b.	38,6 n.b.	2,2 n.b.	17,5 n.b.
1999	Ae bis -3 cm	203 n.b.	244 n.b.	51 n.b.	1,0 n.b.	5,6 n.b.	4,9 n.b.	4,1 n.b.	1,0 n.b.	7,1 n.b.	0,4 n.b.	20,3 n.b.
2002	O bis +3 cm	1735 ± 411	1577 ± 911	377 ± 101	7,9 ± 3,7	5,7 ± 3,3	4,5 ± 2,0	5,3 ± 0,7	315,8 ± 107,8	24,4 ± 4,6	1,3 ± 0,3	19,0 ± 0,7
2002	Ae bis -3 cm	196 ± 40	171 ± 57	39 n.b.	0,7 ± 0,3	1,3 ± 0,5	3,5 ± 1,2	4,0 ± 0,5	46,3 ± 13,5	3,2 ± 1,0	0,2 ± 0,1	17,8 ± 0,4
2007	O bis +3 cm	1523 ± 184	654 ± 152	n.b. n.b.	3,1 ± 0,5	6,4 ± 2,7	0,4 ± 0,2	1,0 ± 0,6	10,7 ± 0,3	22,8 ± 7,9	1,0 ± 0,1	23,5 ± 7,2
2007	Ae bis -3 cm	298 ± 26	138 ± 38	n.b. n.b.	0,6 ± 0,1	1,0 ± 0,3	1,8 ± 0,7	4,0 ± 1,5	5,8 ± 1,1	6,1 ± 1,2	0,2 ± 0,1	29,1 ± 1,9
2011	O bis +3 cm	513 ± 99	1316 ± 227	n.b. n.b.	5,2 ± 1,4	23,8 ± 4,1	10,2 ± 1,7	3,9 ± 0,4	28,6 ± 7,5	20,5 ± 7,6	1,5 ± 0,9	15,8 ± 5,9
2011	Ae bis -3 cm	470 ± 51	229 ± 39	n.b. n.b.	0,8 ± 0,5	3,8 ± 1,2	1,6 ± 1,1	3,1 ± 1,9	4,1 ± 1,2	3,0 ± 0,2	0,2 ± 0,0	20,6 ± 0,9
2013	O bis +3 cm	2197 ± 471	n.b. n.b.	145 ± 38	5,7 ± 2,3	3,1 ± 1,2	2,6 ± 0,7	n.b. n.b.	23,1 ± 8,0	17,4 ± 4,6	0,9 ± 0,2	19,1 ± 1,0
2013	Ae bis -3 cm	482 ± 235	n.b. n.b.	35 ± 21	0,7 ± 0,2	0,7 ± 0,5	1,5 ± 0,2	n.b. n.b.	5,7 ± 2,2	3,7 ± 1,0	0,2 ± 0,1	19,2 ± 0,9
2016	Ofh bis +6,1 cm	2141 ± 444	n.b. n.b.	86 ± 14	3,4 ± 0,9	7,4 ± 1,7	1,6 ± 0,3	n.b. n.b.	36,6 ± 8,7	18,3 ± 5,0	0,9 ± 0,2	19,2 ± 1,0
2016	Aeh bis -2,6 cm	724 ± 64	n.b. n.b.	26 ± 5	0,4 ± 0,1	0,6 ± 0,2	0,6 ± 0,1	n.b. n.b.	4,2 ± 0,7	3,1 ± 0,2	0,2 ± 0,0	20,0 ± 0,9
2019	Ofh bis +5,3 cm	4512 ± 293	n.b. n.b.	169 ± 20	2,1 ± 0,3	27,5 ± 2,7	0,5 ± 0,1	n.b. n.b.	22,3 ± 1,8	19,7 ± 3,4	1,0 ± 0,1	19,6 ± 0,8
2019	Aeh bis -2,5 cm	798 ± 78	n.b. n.b.	25 ± 3	0,4 ± 0,0	1,9 ± 0,1	0,5 ± 0,0	n.b. n.b.	3,1 ± 0,6	3,3 ± 0,4	0,2 ± 0,0	20,7 ± 0,9

Fortsetzung: Tabelle 4.45

Jahr	Boden- horizont	C _{mic} -CFE / Fläche	C _{mic} -SIR / Fläche	N _{mic} -CFE / Fläche	R _B -Hein / Fläche	ARG / Fläche	Q _{mic} -CFE C _{mic} -CFE / C _{org}	Q _{mic} -SIR C _{mic} -SIR / C _{org}	N _{min} / Fläche	C _{org} / Flä- che	N _t / Fläche	pH
	Tiefe, cm	g m ⁻²	g m ⁻²	g m ⁻²	mg CO ₂ -C m ⁻² h ⁻¹	mg NH ₄ ⁺ N m ⁻² h ⁻¹	%	%	kg ha ⁻¹	g m ⁻²	g m ⁻²	
1996	Ae bis -3 cm	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,6	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	2,9
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
1999	O bis +3 cm	10,9	10,6	4,3	67,6	99,4	0,4	0,3	1,0	n.b.	n.b.	2,8
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
1999	Ae bis -3 cm	8,3	10,0	2,1	41,0	229,6	0,3	0,4	0,4	n.b.	n.b.	2,9
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
2002	O bis +3 cm	13,9	12,6	3,0	63,2	45,2	0,7	0,7	25,3	1948	103	3,6
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
2002	Ae bis -3 cm	10,2	8,9	2,0	35,8	67,6	0,6	0,5	24,1	1642	93	3,4
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
2007	O bis +3 cm	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,7	0,3	n.b.	n.b.	n.b.	2,7
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	± 0,1
2007	Ae bis -3 cm	18,2	8,4	n.b.	34,5	63,0	0,5	0,2	3,5	3717	129	3,0
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
2011	O bis +3 cm	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,3	0,6	n.b.	n.b.	n.b.	2,9
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	± 0,1	± 0,2	n.b.	n.b.	n.b.	± 0,1
2011	Ae bis -3 cm	22,7	11,0	n.b.	36,4	184,2	1,6	0,8	2,0	1461	71	3,2
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
2013	O bis +3 cm	28,1	n.b.	1,8	75,5	42,7	1,3	n.b.	2,9	2311	119	3,0
		± 10,1	n.b.	± 0,6	± 39,2	± 28,8	± 0,2	n.b.	± 1,2	± 1266	± 57	± 0,1
2013	Ae bis -3 cm	18,5	n.b.	1,3	27,1	28,2	1,3	n.b.	2,2	1428	76	3,2
		± 10,4	n.b.	± 0,9	± 9,9	± 18,0	± 0,3	n.b.	± 1,0	± 420	± 24	± 0,1
2016	Ofh bis +6,1 cm	47,6	n.b.	1,9	75,7	163,9	1,2	n.b.	8,1	4058	209	3,0
		± 9,9	n.b.	± 0,3	± 19,1	± 38,7	± 0,1	n.b.	± 1,9	± 1112	± 47	± 0,1
2016	Aeh bis -2,6 cm	24,2	n.b.	0,9	13,8	19,2	2,3	n.b.	1,4	1045	52	2,9
		± 2,1	n.b.	± 0,2	± 1,7	± 6,7	± 0,2	n.b.	± 0,2	± 80	± 3	± 0,1
2019	Ofh bis +5,3 cm	82,7	n.b.	3,1	39,4	503,9	2,3	n.b.	4,1	3620	184	3,0
		± 5,4	n.b.	± 0,4	± 5,4	± 49,7	± 0,2	n.b.	± 0,3	± 631	± 25	± 0,0
2019	Aeh bis -2,5 cm	25,0	n.b.	0,8	12,8	58,4	2,4	n.b.	1,0	1038	50	3,1
		± 2,4	n.b.	± 0,1	± 1,2	± 3,2	± 0,3	n.b.	± 0,2	± 138	± 6	± 0,1

4.9.4 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zu abiotischen Standortfaktoren

Sowohl der mikrobielle Stickstoffgehalt ($N_{\text{mic-CFE}}$) als auch die Argininammonifikation (ARG) korrelieren jeweils signifikant mit dem C_{org} -Gehalt ($N_{\text{mic-CFE}}$: $r = 0,954$, $p < 0,05$, $N = 5$, ARG: $r = 0,849$, $p < 0,05$, $N = 7$) sowie mit dem Gesamtstickstoffgehalt ($N_{\text{mic-CFE}}$: $r = 0,945$, $p < 0,05$, $N = 5$, ARG: $r = 0,901$, $p < 0,01$, $N = 7$). Dies deutet darauf hin, dass höhere Kohlenstoff- und Stickstoffgehalte im Boden die Ammonifikationsaktivität und die mikrobielle Stickstoffassimilation begünstigt haben. Zudem zeigt sich eine signifikante Korrelation zwischen der Trockenrohdichte und dem metabolischen Quotienten ($Q_{\text{met-CFE}}$, $r = -0,991$, $p < 0,01$, $N = 5$). Daraus folgt, dass die Bodenmikroorganismen bei höheren Lagerungsdichten effizienteren Stoffwechsel betrieben haben.

Bei der Humusaufgabe zeigt sich eine signifikante Beziehung zwischen dem metabolischen Quotienten ($Q_{\text{met-CFE}}$) und dem C_{org}/N_t -Verhältnis ($r = -0,875$, $p < 0,05$, $N = 6$). Dies zeigt, dass die Effizienz der Mikroorganismen in der Humusaufgabe bei eher geringerer Qualität der Streu mit höheren C_{org}/N_t -Verhältnissen tendenziell höher war.

4.9.5 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zum Klima und zur Witterung

Bei dem deutlichen Anstieg der mikrobiellen Biomasse ($C_{\text{mic-CFE}}$) zwischen den Untersuchungsjahren 2013 und 2016 zeigt sich im gleichen Zeitraum eine deutliche Zunahme der Vorjahresniederschläge und -temperaturen. Auch zeigt sich bei dem stetigen $C_{\text{mic-CFE}}$ -Anstieg seit 2007, dass auch die Temperaturunterschiede zwischen den Winter- und Sommerhalbjahren der jeweiligen Vorjahre deutlich abgenommen haben. Statistisch betrachtet sind beide Beziehungen jedoch nicht signifikant.

Dagegen bestehen signifikante Korrelationen zu den klimatischen Gegebenheiten für mikrobiologische Parameter der Humusaufgabe. Die Niederschläge der vergangenen Vegetationsperioden korrelieren dabei mit dem Gehalt der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{\text{mic-SIR}}$, $r = -0,989$, $p < 0,05$, $N = 4$) sowie mit dem mikrobiellen Stickstoff ($N_{\text{mic-CFE}}$, $r = 0,997$, $p < 0,01$, $N = 4$). Der metabolische Quotient ($Q_{\text{met-CFE}}$) korreliert zudem mit den Vorjahrestemperaturen ($r = -0,965$, $p < 0,05$, $N = 4$). Nach wärmeren und feuchteren Jahren stieg somit die Effizienz der Mikroorganismen sowie der Gehalt des mikrobiellen Stickstoffs während der Gehalt der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse eher abnahm.

4.9.6 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Bewirtschaftung

Die Bewirtschaftung des Waldes erfolgt durch Einzelentnahmen von Bäumen. Dies kann partiell zu einer Erhöhung der Bodentemperatur durch stärkere Sonneneinstrahlung sowie zu einer Absenkung des Grundwasserstandes durch verringerten Sog führen. Für das Wachstum der Bodenmikroorganismen kann dies je nach Stärke der Veränderungen auch positive Effekte haben.

4.9.7 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Vegetationskunde

Die Vegetation des Waldes, größtenteils bestehend aus Rotbuchen sowie aus Drahtschmielen in der Krautschicht, liefert eine vergleichsweise stickstoffreiche Streu, was sich in einem relativ engen C_{org}/N_t Verhältnis der Humusaufgabe widerspiegelt. Auch das Auftreten von Stickstoffzeigern (Große Brennnessel, Kletten-Labkraut) deutet stellenweise auf eine ausreichende Stickstoffversorgung des Bodens hin. Dennoch zeigt die BDF32 die geringste mikrobielle Biomasse ($C_{\text{mic-CFE}}$) aller Laubwald-Standorte, was möglicherweise mit dem für Laubwälder geringen Humusanteil zusammenhängt. Die Drahtschmiele hat einen Einfluss auf die Sauerstoffversorgung in der Humusaufgabe.

4.9.8 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Bodenzoologie

Aus den bodenzoologischen Untersuchungen geht hervor, dass die geringe Biomasse der Regenwürmer lediglich auf eine einzige Art von Streubewohnern zurückzuführen ist. Die Regenwurmbiomasse war zwischen 2002 und 2012 unverändert niedrig. Dagegen zeigte die mikrobielle Biomasse ($C_{mic-CFE}$) in der Humusaufgabe zunächst einen deutlichen Rückgang bis 2011 und einen starken Anstieg zum Jahr 2013. Im Mineraloberboden stieg die mikrobielle Biomasse nahezu kontinuierlich seit 1999. Dies deutet darauf hin, dass ein Nährstoffeintrag in den Mineraloberboden auch ohne endogäischer und anecischer Regenwurmart in ausreichender Form gewährleistet war. Der starke Rückgang der Regenwürmer und Kleinringelwürmer zwischen 2012 und 2018 spiegelt sich in den mikrobiellen Biomassen nicht wider, da diese zwischen 2013 und 2019 einen deutlichen Anstieg zeigten.

4.10 BDF39 Hevenbruch

4.10.1 Situation bei der Probenentnahme

Tabelle 4.46: Temperatur und Niederschlag zum Jahreswechsel 2018/2019 an der BDF39. Monatsdurchschnittstemperatur in °C, Monatsniederschlagssumme in mm.

Jahr	Monat	Monatsdurchschnitts- temperatur, °C	Niederschlag, mm/Monat
2018	Oktober	10,8	26
	November	5,3	15
	Dezember	4,9	78
2019	Januar	1,7	58
	Februar	4,6	26
	März	6,6	80
Dez. 18 - Feb. 19		3,7	162

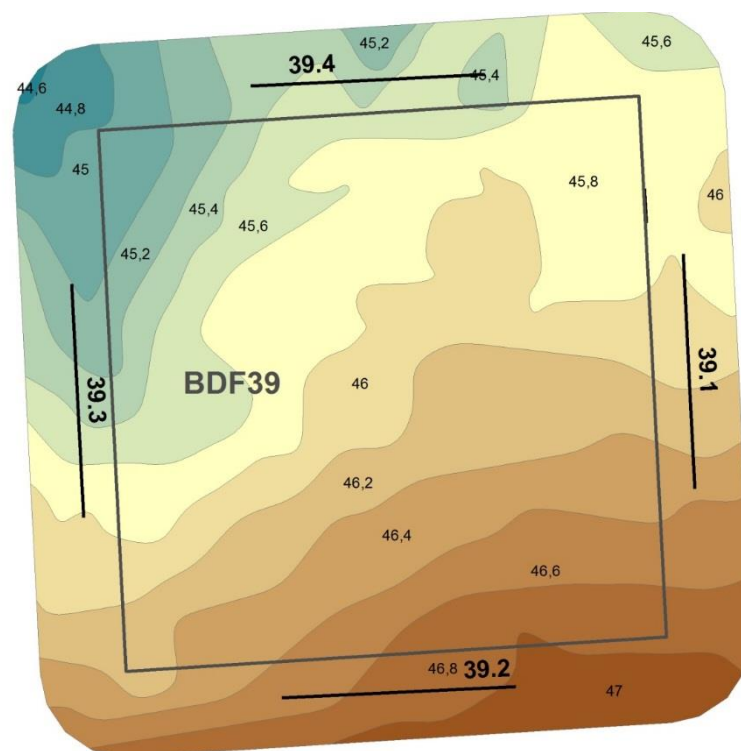


Abbildung 4.55: Lage der Probenentnahmestellen an der BDF39 (39.1-4).

Tabelle 4.47: Bedingungen während der Probenentnahme an der BDF39 (Probenentnahmeprotokoll). Für die Witterungsverhältnisse und die Bodenbeschaffenheit sind die Abkürzungen nach Ad-Hoc-ARBEITSGRUPPE BODEN, 2005, angegeben.

Bearbeiter	Herr Dr. Elsner
Datum	05.03.2019
Beginn	09:00 Uhr
Temp., GOF	6,2°C
Temp., 10cm	6,3°C
Tage ohne Frost	5 Tage
Niederschlag	mäß. Niederschläge seit 24 Std.
Bodenfeuchte	feucht, steif
Baumbestand, Alter	alt
Baumbestand, Einheitlichkeit	Reinbestand
Kronenschluß	Baumbestand gedrängt/ geschlossen
Baumart, dominierend	Buche
Baumart, begleitend	Eiche
Frühlingsblüher	
Bodenvegetation, Zusammensetz.	
Bodenvegetation, Einheitlichkeit	einheitlich
Bodenvegetation, Höhe	
Bodenvegetation, Deckung	geschlossen, kein freier Boden
Bewirtschaftungsmaßn.	
Störung des Bodens	
Bemerkung	nur Buchen-streu, keine Krautschicht

4.10.2 Analyseergebnisse und Klassifikation

Die BDF39 Hevenbruch befindet sich auf einem Moränenkomplex des Östlichen Hügellandes in einem Laubwald mit einer Buchen-Perlgrasvegetation. Die Bodenform ist Pseudogley-Braunerde aus pleistozäner Fließerde. Die abiotischen Analyseergebnisse sind in der Tabelle 4.48, die bodenmikrobiologischen Parameter in der Tabelle 4.49 dargestellt.

Humusauflage

Die Humusauflage (mullartiger Moder bis feinhumusarmer Moder, 3,8 cm mächtig) der BDF39 weist einen unterdurchschnittlich hohen Gehalt organischen Kohlenstoffs (C_{org}) auf. Auch der Gesamtstickstoffgehalt (N_t) ist leicht unterdurchschnittlich, so dass sich im Waldflächen-Vergleich ein eher enges C_{org}/N_t -Verhältnis mit mittel hoher Humusqualität ergibt. Der Gehalt der löslichen Stickstoffverbindungen (N_{min}) ist für Humusauflagen mittel hoch und setzt sich zu etwa 90 % aus Ammonium und zu etwa 10 % aus Nitrat zusammen. Die Humusauflage weist einen pH im sehr stark sauren Bereich auf.

Der Gehalt der mikrobiellen Biomasse ($C_{\text{mic-CFE}}$) in der Humusaufgabe der BDF39 wird als sehr hoch eingestuft. Der Gehalt des mikrobiellen Stickstoffs ($N_{\text{mic-CFE}}$) ist dagegen für Humusaufgaben mittel hoch. Die Basalatmung ($R_{\text{B-Hein}}$) weist niedrige Werte auf, während die Argininammonifikation (ARG) und der mikrobielle Quotient ($Q_{\text{mic-CFE}}$) als sehr hoch eingestuft werden. Der metabolische Quotient ($Q_{\text{met-CFE}}$) ist hingegen niedrig.

Mineraloberboden

Der Mineraloberboden (Aeh, bis 2,6 cm Tiefe) der BDF39 besitzt unter den Wald-BDF den zweithöchsten Anteil des organischen Kohlenstoffs (C_{org}). Gemäß Ad hoc AG-Boden (2005) ist der Boden als sehr stark humos einzustufen. Zudem weist der Boden auch den zweithöchsten Gesamtstickstoffgehalt (N_t) auf, so dass im Ergebnis das zweitengste C_{org}/N_t -Verhältnis der Waldflächen resultiert. Die Humusqualität wird als mittel hoch eingestuft. Der Gehalt löslicher Stickstoffverbindungen (N_{min}) ist für sandige Waldböden mittel hoch und setzt sich zu etwa 80 % aus Ammonium und zu etwa 20 % aus Nitrat zusammen. Der pH des Bodens liegt im extrem sauren Bereich. Der Boden weist eine sehr geringe Trockenrohdichte auf.

Der Gehalt der mikrobiellen Biomasse ($C_{\text{mic-CFE}}$) im Mineraloberboden der BDF39 wird für sandige Waldböden als sehr hoch eingestuft. Der Gehalt des mikrobiellen Stickstoffs ($N_{\text{mic-CFE}}$) die Basalatmung ($R_{\text{B-Hein}}$) sowie die Argininammonifikation (ARG) weisen mittel hohe Werte auf. Der mikrobielle Quotient ($Q_{\text{mic-CFE}}$) ist als hoch einzustufen, der metabolische Quotient ($Q_{\text{met-CFE}}$) ist hingegen niedrig.

Tabelle 4.48: Ergebnisse der bodenchemischen Analyse 2019 der BDF39 (Hevenbruch). Aufgeführt sind der organische Kohlenstoffgehalt (C_{org}) und der Gesamtstickstoffgehalt (N_t) in $cg\ g^{-1}TG$, sowie das Verhältnis von organischem Kohlenstoff zu Stickstoff im Boden (C_{org} / N_t), der gelöste Stickstoffgehalt (N_{min}) berechnet aus der Summe von Ammonium (NH_4^+-N), Nitrit ($NO_2^- - N$) und Nitrat ($NO_3^- - N$), die Trockenrohdichte in $g\ TG\ cm^{-3}$, der Wassergehalt in $mg\ g^{-1}\ TG$ und der pH gemessen in $CaCl_2$. Die Werte stellen jeweils den Mittelwert aus acht Parallelen dar und sind mit der Standardabweichung angegeben. Farbkodierungen zur Bewertung siehe Anhang Tabelle A 2, A 3, A 4 und A 5.

Boden-horizont	C_{org}	N_t	C_{org} / N_t	N_{min}	NH_4^+-N	$NO_2^- - N$	$NO_3^- - N$
Tiefe, cm	$cg\ g^{-1}\ TG$	$cg\ g^{-1}\ TG$		$\mu g\ g^{-1}\ TG$	$\mu g\ g^{-1}\ TG$	$\mu g\ g^{-1}\ TG$	$\mu g\ g^{-1}\ TG$
Of&Oh bis +3,8 cm	26,1 $\pm 2,3$	1,3 $\pm 0,1$	19,4 $\pm 0,3$	37,1 $\pm 5,8$	33,9 $\pm 5,3$	0,0 $\pm 0,0$	3,2 $\pm 1,8$
Aeh bis -2,6 cm	4,9 $\pm 0,2$	0,3 $\pm 0,0$	16,4 $\pm 0,5$	4,7 $\pm 1,0$	4,0 $\pm 0,9$	0,0 $\pm 0,0$	0,7 $\pm 0,4$

Boden-horizont	$C_{org} / \text{Fläche}$	$N_t / \text{Fläche}$	$N_{min} / \text{Fläche}$	$N_{min} / \text{Fläche}$	Trockenroh-dichte	Wasser-gehalt	pH
Tiefe, cm	$g\ m^{-2}$ Horizonttiefe	$g\ m^{-2}$ Horizonttiefe	$g\ m^{-2}$ Horizonttiefe	$kg\ N\ ha^{-1}$ Horizonttiefe	$g\ TG\ cm^{-3}$	$mg\ g^{-1}\ TG$	
Of&Oh bis +3,8 cm	2203 ± 197	113 ± 9	0,3 $\pm 0,0$	3,1 $\pm 0,5$	0,2 $\pm n.b.$	1215 ± 211	3,3 $\pm 0,2$
Aeh bis -2,6 cm	1454 ± 71	89 ± 6	0,1 $\pm 0,0$	1,4 $\pm 0,3$	1,2 $\pm n.b.$	349 ± 39	3,2 $\pm 0,1$

Tabelle 4.49: Ergebnisse der bodenmikrobiologischen Analyse 2019 der BDF39 (Hevenbruch). Aufgeführt ist der mikrobielle Kohlenstoffgehalt, gemessen mit der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($C_{mic-CFE}$) und über die Substratinduzierte Atmung (SIR) mit der Heinemeyeraanalyse ($C_{mic-SIR}$), außerdem der mikrobielle Stickstoffgehalt, gemessen mit der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($N_{mic-CFE}$). Angegeben sind weiterhin die mikrobielle Basalatmung, gemessen als CO_2 -Produktionsrate mithilfe der Heinemeyeraanlage (R_{B-Hein}) und die potentielle Ammonifikation nach der Arginin-Ammonifikationsmethode (ARG). Des weiteren sind der metabolische Quotient und der mikrobielle Quotient jeweils aus den Ergebnissen der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($C_{mic-CFE}$) und der Heinemeyeraanlage ($C_{mic-SIR}$) berechnet. Die Werte stellen jeweils den Mittelwert aus acht Parallelen dar und sind mit der Standardabweichung angegeben. Farbkodierungen siehe Anhang A 6. Im unteren Teil der Tabelle sind die verschiedenen Parameter bezogen auf die Fläche angegeben.

Boden-horizont	$C_{mic-CFE}$	$C_{mic-SIR}$	$N_{mic-CFE}$	R_{B-Hein}	ARG	$Q_{mic-CFE}$ $C_{mic-CFE} / C_{org}$	$Q_{mic-SIR}$ $C_{mic-SIR} / C_{org}$
Tiefe, cm	$\mu g\ g^{-1} TG$	$\mu g\ g^{-1} TG$	$\mu g\ g^{-1} TG$	$\mu g\ CO_2-C\ g^{-1} TG\ h^{-1}$	$\mu g\ NH_4^+-N\ g^{-1} TG\ h^{-1}$	%	%
Of&Oh bis +3,8 cm	4816 ± 765	n.b. $\pm n.b.$	217 ± 46	5,2 $\pm 1,1$	29,0 $\pm 7,8$	1,9 $\pm 0,3$	n.b. $\pm n.b.$
Aeh bis -2,6 cm	1054 ± 105	n.b. $\pm n.b.$	38 ± 7	0,6 $\pm 0,1$	0,8 $\pm 0,4$	2,2 $\pm 0,1$	n.b. $\pm n.b.$

Boden-horizont	$C_{mic-CFE} /$ Fläche	$C_{mic-SIR} /$ Fläche	$N_{mic-CFE} /$ Fläche	$R_{B-Hein} /$ Fläche	ARG / Fläche	$Q_{met-CFE}$ $R_{B-Hein} / C_{mic-CFE}$	$Q_{met-SIR}$ $R_{B-Hein} / C_{mic-SIR}$
Tiefe, cm	$g\ m^{-2}$ Horizonttiefe	$g\ m^{-2}$ Horizonttiefe	$g\ m^{-2}$ Horizonttiefe	$mg\ CO_2-C\ m^{-2}\ h^{-1}$ Horizonttiefe	$mg\ NH_4^+-N\ m^{-2}\ h^{-1}$ Horizonttiefe	$\mu g\ CO_2-C\ mg^{-1}\ C_{mic-CFE}\ h^{-1}$	$\mu g\ CO_2-C\ mg^{-1}\ C_{mic-SIR}\ h^{-1}$
Of&Oh bis +3,8 cm	41 ± 6	n.b. $\pm n.b.$	1,8 $\pm 0,4$	44 ± 9	245 ± 66	1,1 $\pm 0,1$	n.b. $\pm n.b.$
Aeh bis -2,6 cm	31 ± 3	n.b. $\pm n.b.$	1,1 $\pm 0,2$	19 ± 4	24 ± 13	0,6 $\pm 0,1$	n.b. $\pm n.b.$

4.10.3 Zeitreihenvergleich

Humusauflage

Der Gehalt des organischen Kohlenstoffs (C_{org}) in der Humusauflage der BDF 39 zeigte Veränderungen im gesamten Untersuchungszeitraum (Abbildung 4.56). Dabei war das Jahr der Erstuntersuchung 2007 durch den höchsten C_{org} -Gehalt gekennzeichnet, welcher sich im weiteren zeitlichen Verlauf durch sich jeweils abwechselnde negative und positive Trends insgesamt verringerte. Zwischen 2016 und 2019 zeigte sich eine leichte Zunahme des C_{org} -Gehalts. Der pH-Wert in der Humusauflage blieb über die vier Untersuchungsjahre nahezu konstant niedrig.

Der Gehalt der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$) zeigte zunächst eine starke Abnahme im Zeitraum der Jahre 2007 bis 2011. Anschließend zeigte sich ein sehr starker Anstieg des $C_{mic-CFE}$ -Gehaltes zum Jahr 2013. Zum Untersuchungsjahr 2016 nahm die mikrobielle Biomasse, trotz einer Verdoppelung der Beprobungstiefe, nur leicht ab. Es folgte ein deutlicher Anstieg der mikrobiellen Biomasse zum Jahr 2019. Der mikrobielle Quotient ($Q_{mic-CFE}$) stieg zum Jahr 2013 deutlich an und blieb zum Untersuchungsjahr 2016 unverändert. Zum Jahr 2019 stieg dieser leicht an. Der Gehalt der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$) sowie der mikrobielle Quotient der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{mic-SIR}$) stiegen zwischen den Jahren 2007 und 2011 deutlich an.

Der zeitliche Verlauf der Basalatmung (R_{B-Hein}) ist durch abwechselnd positive und negative Trends gekennzeichnet (Abbildung 4.58). Die Höchstwerte entfallen dabei auf die Jahre 2011 und 2016. Auch der metabolische Quotient ($Q_{met-CFE}$) wies im Verlauf der Untersuchungsjahre sich abwechselnde Zu- und Abnahmen, jedoch ist der Höchstwert des Jahres 2011 sehr viel stärker ausgeprägt als die Unterschiede der übrigen Jahre. Zum Jahr 2019 nahmen beide Parameter deutlich ab.

Die Gehalte mineralischen Stickstoffs (N_{min}) stiegen zunächst von einem sehr niedrigen Niveau ausgehend zum Jahr 2011 sehr stark an (Abbildung 4.60). Von diesem Höchstwert nahmen die N_{min} -Gehalte zum Jahr 2013 stark ab. Zum Untersuchungsjahr 2016 erfolgte ein deutlicher Anstieg im Gehalt des mineralischen Stickstoffs. Die zeitliche Entwicklung der Argininammonifikation (ARG) erfolgte gegenläufig zum N_{min} -Gehalt. Zum Untersuchungsjahr 2016 reduzierte sich die ARG bis in den negativen Bereich. Während die Argininammonifikation zum Jahr 2019 sehr stark anstieg, zeigten die N_{min} -Gehalte eine deutliche Abnahme.

Mineraloberboden

Der Gehalt organischen Kohlenstoffs (C_{org}) im Mineraloberboden der BDF39 zeigte den Höchstwert im Jahr der Erstuntersuchung 2007. Zum darauffolgenden Untersuchungsjahr 2011 halbierte sich der C_{org} -Gehalt und verblieb auf diesem Niveau bis 2013. Zu den Untersuchungsjahren 2016 und 2019 nahm der C_{org} -Gehalt geringfügig zu, was vermutlich auf eine Änderung der Beprobungstiefe zurückzuführen ist. Auch der Boden-pH zeigte seinen Höchstwert bei der Erstuntersuchung, und sank zum Jahr 2016 leicht aber beständig ab. Zum Jahr 2019 erfolgte keine weitere pH-Abnahme.

Der Gehalt der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$) zeigte bei der Erstuntersuchung 2007 den niedrigsten Stand aller Untersuchungsjahre. Zum Jahr 2011 nahm dieser deutlich zu und reduzierte sich zum Untersuchungsjahr 2013. Zum Untersuchungsjahr 2016 stieg der $C_{mic-CFE}$ -Gehalt erneut an und erreichte seinen Höchstwert, vermutlich aufgrund der Reduzierung der Beprobungstiefe von 4 cm auf 2,8 cm. Zum Jahr 2019 erfolgte eine leichte Abnahme der mikrobiellen Biomasse. Auch der mikro-

bielle Quotient ($Q_{\text{mic-CFE}}$) ist durch diese Entwicklung gekennzeichnet. Der Gehalt der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{\text{mic-SIR}}$) sowie der mikrobielle Quotient der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{\text{mic-SIR}}$) stiegen zwischen den Jahren 2007 und 2011 deutlich an (Abbildung 4.57).

Die Basalatmung ($R_{\text{B-Hein}}$) im Mineraloberboden zeigte einen niedrigen Wert im Untersuchungsjahr 2007 (Abbildung 4.59). Zum darauffolgenden Untersuchungsjahr verdoppelte sich diese und erreichte somit den bisherigen Höchstwert. Zum Jahr 2013 nahm die Respiration deutlich ab und blieb unverändert bis zum Untersuchungsjahr 2016, trotz Zunahme des C_{org} -Gehaltes und der mikrobiellen Biomasse in diesem Zeitraum. Eine ähnliche Entwicklung durchlief auch der metabolische Quotient ($Q_{\text{met-CFE}}$), jedoch setzte sich die abnehmende Tendenz bis ins Jahr 2016 fort. Zum Jahr 2019 nahmen beide Parameter deutlich ab.

Die Gehalte mineralischen Stickstoffs (N_{min}) stiegen im Zeitraum der Jahre 2007 bis 2011 deutlich an (Abbildung 4.61). Von diesem Höchstwert nahmen die N_{min} -Gehalte zum Jahr 2013 erneut ab. Zum Untersuchungsjahr 2016 erfolgte ein Anstieg im Gehalt des mineralischen Stickstoffs. Die zeitliche Entwicklung der Argininammonifikation (ARG) zeigte etwa gleich hohe Ammonifikationsraten in den Jahren 2007 und 2011. Es folgte eine deutliche Abnahme der ARG bis zum Jahr 2013, welche sich zum Jahr 2016 in den negativen Bereich fortsetzte. Zum Jahr 2019 nahm die Argininammonifikation stark zu, während die N_{min} -Gehalte auf den niedrigsten Wert abgenommen haben.

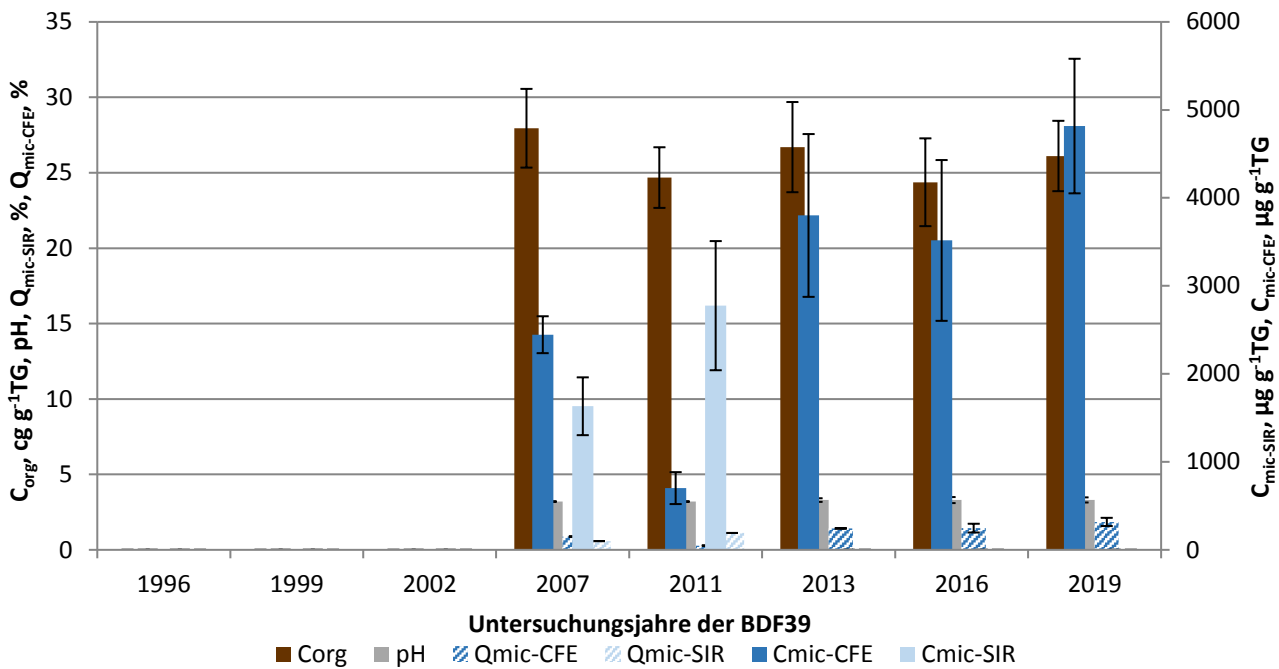


Abbildung 4.56: Ergebnisse der BDF39 (organische Auflage) der gesamten Untersuchungsjahre des organischen Kohlenstoffgehaltes (C_{org}), des pH-Wertes, der gesamten (C_{mic-CFE}) und der glucoseaktivierten (C_{mic-SIR}) mikrobiellen Biomasse und des Anteils dieser Biomasse am organischen Kohlenstoffgehalt (Q_{mic-CFE} und Q_{mic-SIR}). Fehlerbalken stellen die Standardabweichung aus vier Einzelergebnissen dar.

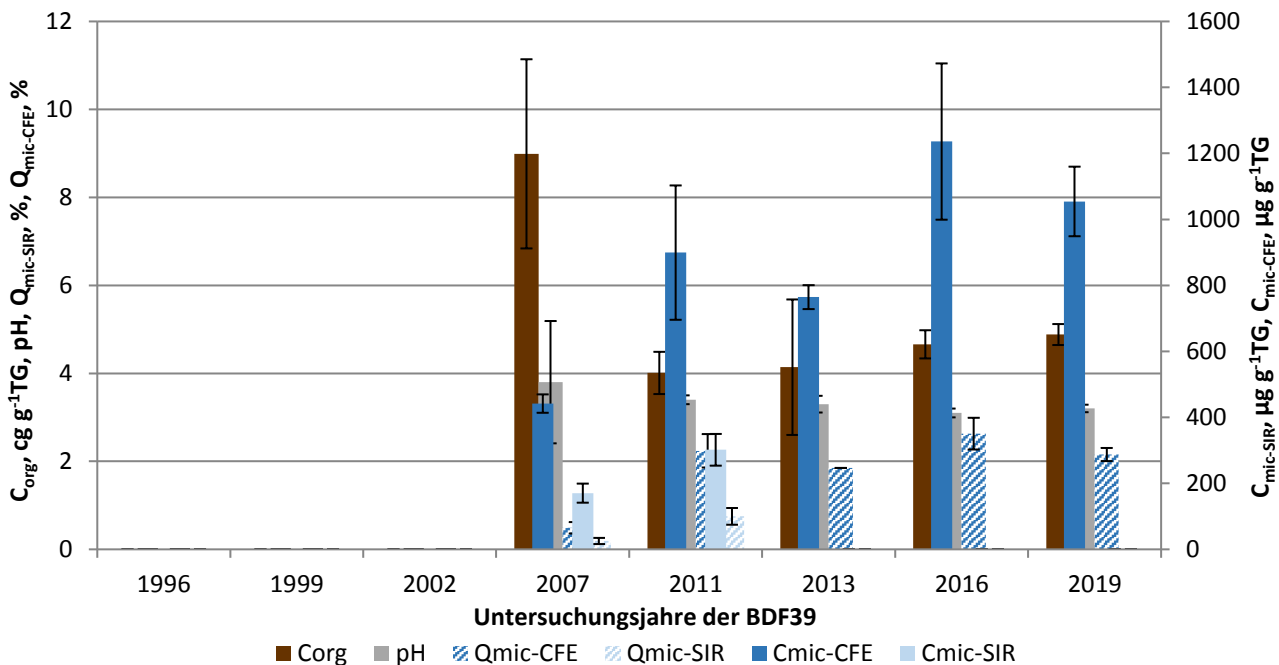


Abbildung 4.57: Ergebnisse der BDF39 (Mineraloberboden) der gesamten Untersuchungsjahre des organischen Kohlenstoffgehaltes (C_{org}), des pH-Wertes, der gesamten (C_{mic-CFE}) und der glucoseaktivierten (C_{mic-SIR}) mikrobiellen Biomasse und des Anteils dieser Biomasse am organischen Kohlenstoffgehalt (Q_{mic-CFE} und Q_{mic-SIR}). Fehlerbalken stellen die Standardabweichung aus vier Einzelergebnissen dar.

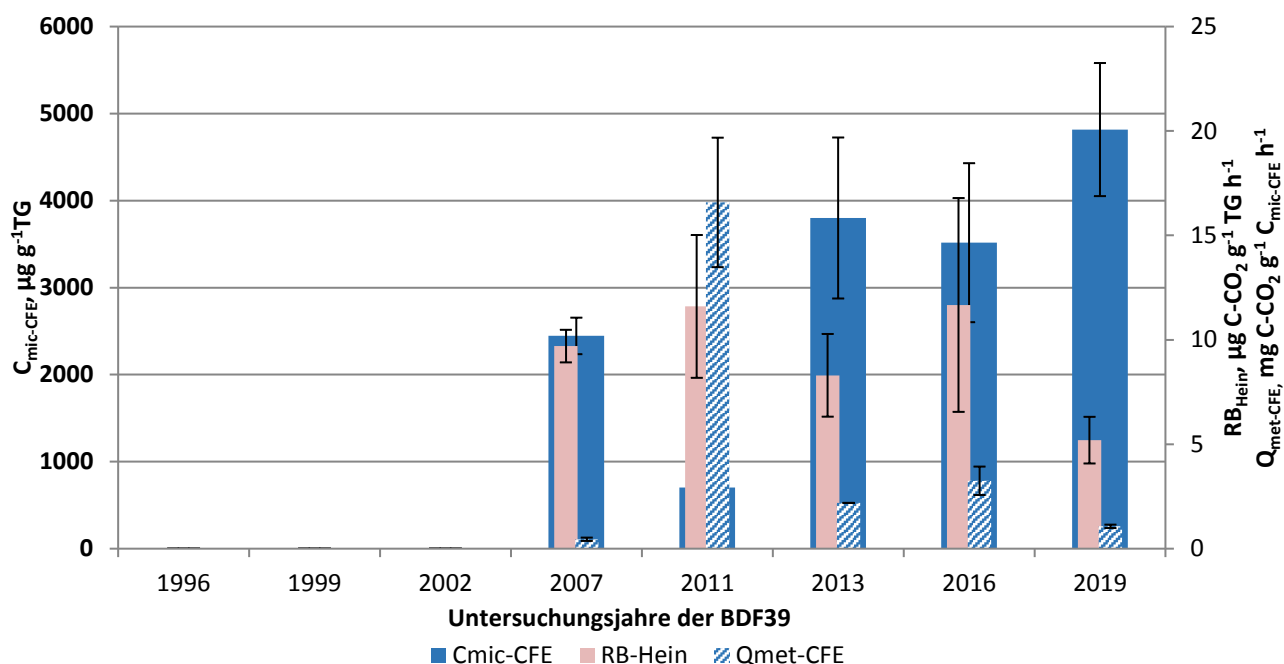


Abbildung 4.58: Ergebnisse der mikrobiellen Aktivität der BDF39 (organische Auflage) der gesamten Untersuchungsjahre, dargestellt anhand der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$), ihrer Basalatmung (R_{B-Hein}) und der mikrobiellen Aktivität ($Q_{met-CFE}$) bezogen auf das Trockengewicht.

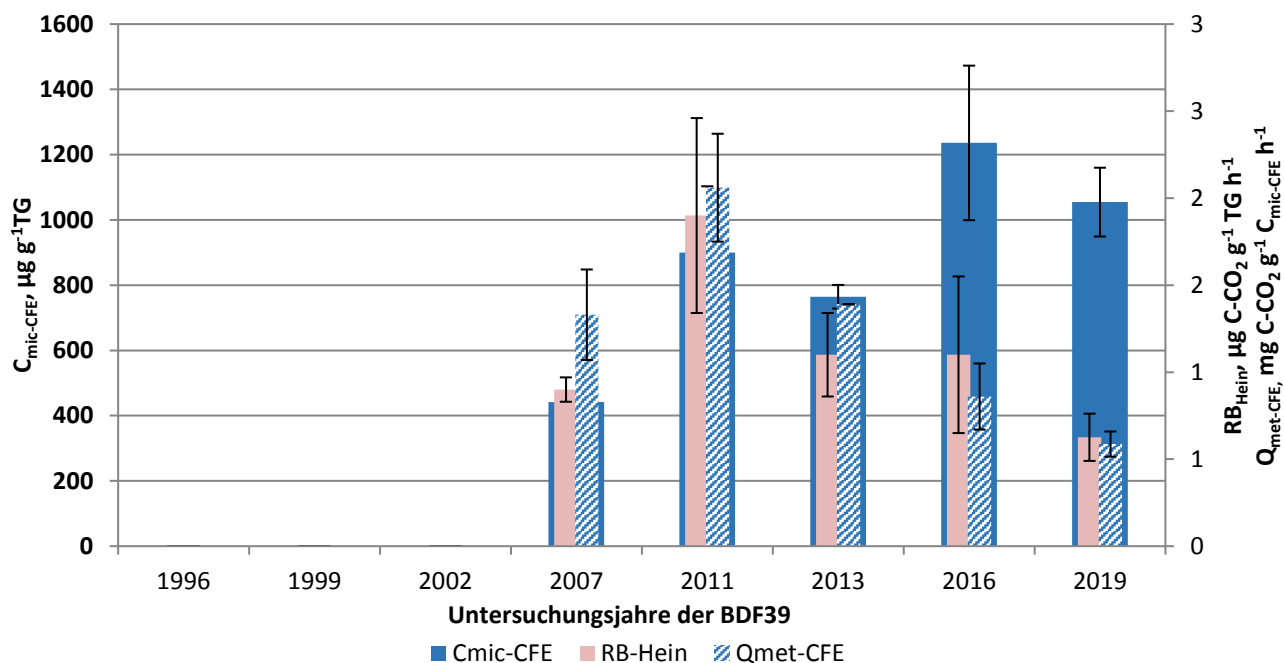


Abbildung 4.59: Ergebnisse der mikrobiellen Aktivität der BDF39 (Mineraloberboden) der gesamten Untersuchungsjahre, dargestellt anhand der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$), ihrer Basalatmung (R_{B-Hein}) und der mikrobiellen Aktivität ($Q_{met-CFE}$) bezogen auf das Trockengewicht.

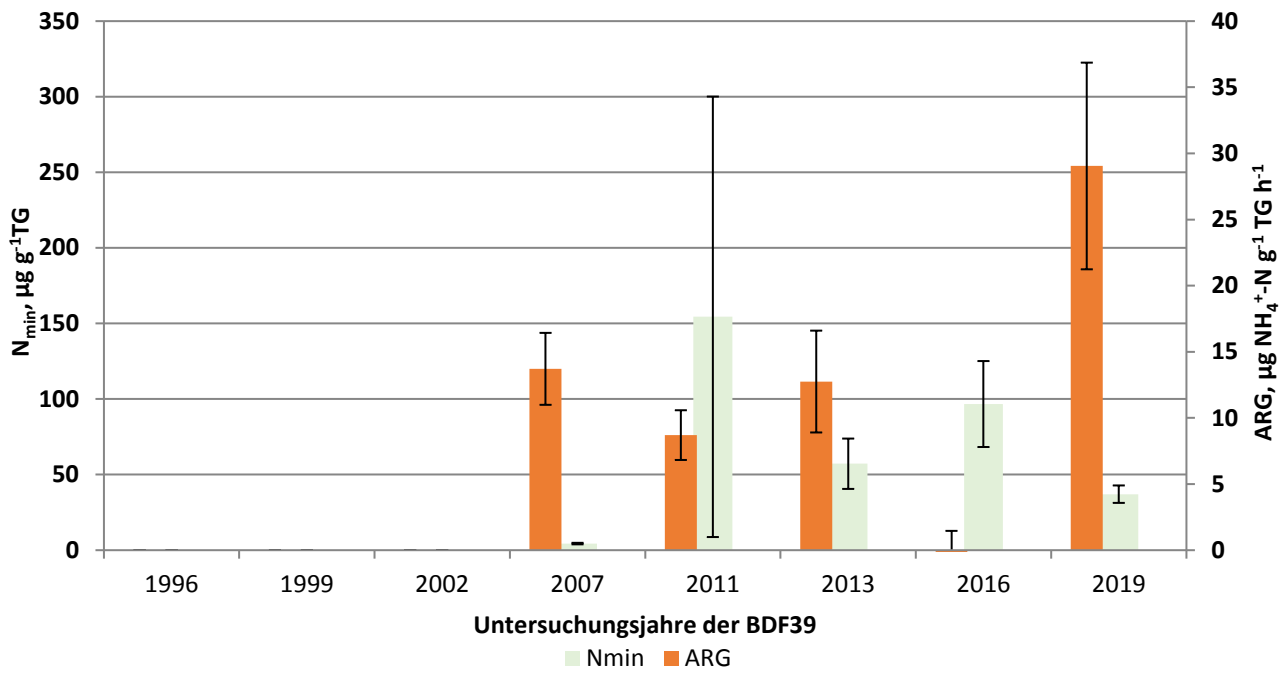


Abbildung 4.60: Darstellung des löslichen Stickstoffs (N_{\min}) und der Argininammonifikation (ARG) der gesamten Untersuchungsjahre der BDF39 (organische Auflage).

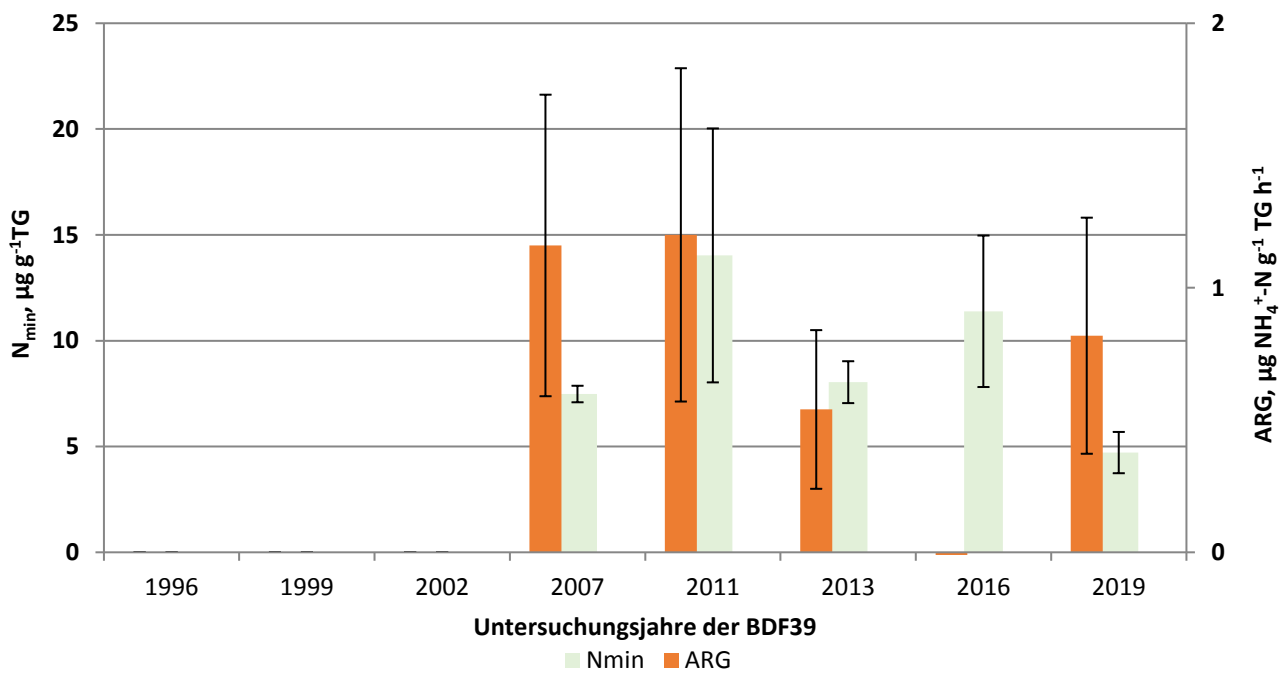


Abbildung 4.61: Darstellung des löslichen Stickstoffs (N_{\min}) und der Argininammonifikation (ARG) der gesamten Untersuchungsjahre der BDF39 (Mineraloberboden).

Tabelle 4.50: Vergleich von mikrobiologischen und abiotischen Analyseergebnissen aus den fünf Beprobungsjahren der BDF39. Angegeben ist jeweils der Mittelwert aus mindestens drei Parallelen und, wenn berechnet, die Standardabweichung dieses Wertes. Eine genauere Beschreibung der Tabelle ist im Anhang A 7.

Jahr	Boden- horizont	C _{mic} -CFE	C _{mic} -SIR Hein	N _{mic} -CFE	R _B -Hein	ARG	Q _{met} -CFE R _B -Hein / C _{mic} -CFE	Q _{met} -SIR R _B -Hein / C _{mic} -SIR	N _{min}	C _{org}	N _t	C _{org} / N _t
	Tiefe, cm	µg g ⁻¹ TG	µg g ⁻¹ TG	µg g ⁻¹ TG	µg CO ₂ -C g ⁻¹ TG h ⁻¹	µg NH ₄ ⁺ - N g ⁻¹ TG h ⁻¹	µg CO ₂ -C mg ⁻¹ C _{mic} - CFE h ⁻¹	µg CO ₂ -C mg ⁻¹ C _{mic} - SIR h ⁻¹	µg g ⁻¹ TG	cg g ⁻¹ TG	cg g ⁻¹ TG	
2007	O bis +2 cm	2445 ± 210	1632 ± 329	n.b. n.b.	9,7 ± 0,8	13,7 ± 2,7	0,5 ± 0,1	0,7 ± 0,2	4,4 ± 0,5	28,0 ± 2,6	1,5 ± 0,2	19,0 ± 1,1
2007	A(e)h bis -4 cm	442 ± 28	170 ± 29	n.b. n.b.	0,9 ± 0,1	1,2 ± 0,6	1,3 ± 0,3	3,5 ± 0,9	7,5 ± 0,4	9,0 ± 2,2	0,3 ± 0,1	28,6 ± 2,8
2011	O bis +2 cm	702 ± 181	2775 ± 734	n.b. n.b.	11,6 ± 3,4	8,7 ± 1,9	16,6 ± 3,1	4,1 ± 0,2	154,4 ± 145,7	24,7 ± 2,0	1,4 ± 0,1	17,6 ± 0,5
2011	A(e)h bis -4 cm	899 ± 204	302 ± 48	n.b. n.b.	1,9 ± 0,6	1,2 ± 0,6	2,06 ± 0,3	6,58 ± 3,3	14,0 ± 6,0	4,0 ± 0,5	0,3 ± 0,0	15,6 ± 0,2
2013	O bis +2 cm	3800 ± 925	n.b. n.b.	226 ± 42	8,3 ± 2,0	12,8 ± 3,9	2,2 ± 0,1	n.b. n.b.	57,2 ± 16,7	26,7 ± 3,0	1,5 ± 0,1	18,0 ± 0,7
2013	A(e)h bis -4 cm	764 ± 36	n.b. n.b.	41 ± 3	1,1 ± 0,2	0,5 ± 0,3	1,4 ± 0,3	n.b. n.b.	8,0 ± 1,0	4,1 ± 1,5	0,3 ± 0,0	15,9 ± 0,4
2016	Ofh bis +4,4 cm	3516 ± 914	n.b. n.b.	187 ± 67	11,7 ± 5,1	-1,3 ± 2,8	3,3 ± 0,7	n.b. n.b.	96,7 ± 28,4	24,4 ± 2,9	1,3 ± 0,2	19,0 ± 0,4
2016	Aeh bis -2,8 cm	1236 ± 237	n.b. n.b.	49 ± 14	1,1 ± 0,5	-3,1 ± 0,4	0,9 ± 0,2	n.b. n.b.	11,4 ± 3,6	4,7 ± 0,3	0,3 ± 0,0	16,7 ± 0,8
2019	Ofh bis +3,8 cm	4816 ± 765	n.b. n.b.	217 ± 46	5,2 ± 1,1	29,0 ± 7,8	1,1 ± 0,1	n.b. n.b.	37,1 ± 5,8	26,1 ± 2,3	1,3 ± 0,1	19,4 ± 0,3
2019	Aeh bis -2,6 cm	1054 ± 105	n.b. n.b.	38 ± 7	0,6 ± 0,1	0,8 ± 0,4	0,6 ± 0,1	n.b. n.b.	4,7 ± 1,0	4,9 ± 0,2	0,3 ± 0,0	16,4 ± 0,5

Fortsetzung: Tabelle 4.50

Jahr	Boden- horizont	C _{mic-CFE} / Fläche	C _{mic-SIR} / Fläche	N _{mic-CFE} / Fläche	R _{B-Hein} / Fläche	ARG / Fläche	Q _{mic-CFE} C _{mic-CFE} / C _{org}	Q _{mic-SIR} C _{mic-SIR} / C _{org}	N _{min} / Fläche	C _{org} / Fläche	N _t / Fläche	pH
	Tiefe, cm	g m ⁻²	g m ⁻²	g m ⁻²	mg CO ₂ -C m ⁻² h ⁻¹	mg NH ₄ ⁺ N m ⁻² h ⁻¹	%	%	kg ha ⁻¹	g m ⁻²	g m ⁻²	
2007	O bis +2 cm	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,9	0,6	n.b.	n.b.	n.b.	3,2
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
2007	A(e)h bis -4 cm	23,9	9,2	n.b.	50,6	62,6	0,5	0,2	4,0	4855	174	3,8
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	± 0,1	± 0,1	n.b.	n.b.	n.b.	± 1,4
2011	O bis +2 cm	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,3	1,1	n.b.	n.b.	n.b.	3,2
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
2011	A(e)h bis -4 cm	41,4	13,9	n.b.	86,0	55,4	2,2	0,8	6,5	1847	119	3,4
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	± 0,4	± 0,2	n.b.	n.b.	n.b.	± 0,1
2013	O bis +2 cm	20,9	n.b.	1,2	45,5	72,1	1,4	n.b.	3,2	1653	119	3,3
		± 4,5	n.b.	± 0,2	± 8,9	± 22,6	± 0,3	n.b.	± 81,5	± 796	± 25	± 0,1
2013	A(e)h bis -4 cm	30,2	n.b.	1,6	42,7	22,3	1,9	n.b.	3,2	1519	84	3,3
		± 6,4	n.b.	± 0,3	± 18,1	± 14,6	± 1,5	n.b.	± 0,8	± 457	± 25	± 0,2
2016	Ofh bis +4,4 cm	47,0	n.b.	2,5	156,0	-17,9	1,4	n.b.	12,9	3258	171	3,3
		± 12,2	n.b.	± 0,9	± 68,5	± 37,4	± 0,3	n.b.	± 3,8	± 389	± 20	± 0,2
2016	Aeh bis -2,8 cm	41,8	n.b.	1,7	37,3	-105,0	2,6	n.b.	3,9	1579	95	3,1
		± 8,0	n.b.	± 0,5	± 15,2	± 12,2	± 0,4	n.b.	± 1,2	± 108	± 10	± 0,1
2019	Ofh bis +3,8 cm	40,6	n.b.	1,8	43,8	245,1	1,9	n.b.	3,1	2203	113	3,3
		± 6,5	n.b.	± 0,4	± 9,4	± 65,9	± 0,3	n.b.	± 0,5	± 197	± 9	± 0,2
2019	Aeh bis -2,6 cm	31,4	n.b.	1,1	18,6	24,4	2,2	n.b.	1,4	1454	89	3,2
		± 3,1	n.b.	± 0,2	± 4,0	± 13,3	± 0,1	n.b.	± 0,3	± 71	± 6	± 0,1

4.10.4 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zu abiotischen Standortfaktoren

Die einzige statistisch signifikante Beziehung zeigt sich zwischen der bodenkundlichen Feuchtestufe und der Argininammonifikation (ARG, $r = 0,999$, $p < 0,05$, $N = 3$). Nach Jahren mit feuchteren Bodenbedingungen zeigten sich höhere Ammonifikationsraten im Mineraloberboden.

Für die Humusaufgabe besteht eine signifikante Korrelation zwischen dem Gesamtstickstoffgehalt (N_t) und der Argininammonifikation (ARG, $r = 0,992$, $p < 0,01$, $N = 4$). Die höheren Ammonifikationsraten traten in den Jahren mit höheren Gesamtstickstoffgehalten auf.

4.10.5 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zum Klima und zur Witterung

Sowohl die Basalatmung als auch der mikrobielle Quotient korrelieren signifikant mit den Vorjahrestemperaturen (R_{B-Hein} : $r = -0,954$, $Q_{mic-CFE}$: $r = -0,978$, $p < 0,05$, $N = 4$). Somit folgten den kühleren Jahren tendenziell höhere Respirationsraten und höhere Gehalte mikrobieller Biomasse, wobei letztere mit den Temperaturen der Hauptvegetationsperioden im Zusammenhang standen.

4.10.6 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Bewirtschaftung

Der Waldstandort steht unter Naturschutz und wird nicht bewirtschaftet.

4.10.7 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Vegetationskunde

Die Perlgras-Buchenwald-Vegetation liefert eine vergleichsweise stickstoffreiche Streu, was sich in einem relativ engen C_{org}/N_t Verhältnis und hohen N_{min} -Gehalten der Humusaufgabe widerspiegelt. Vorhandene Stickstoffzeiger deuten auf einen mäßig stickstoffreichen Boden hin. Daraus resultiert eine insgesamt eher durchschnittliche mikrobielle Aktivität im Vergleich der Laubwälder.

4.10.8 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Bodenzoologie

Zwischen den Jahren 2005 und 2012 ergaben bodenzoologische Untersuchungen eine Zunahme der Abundanz epi- und endogäischer Regenwürmer sowie einen deutlichen Rückgang der Kleinringelwürmer. Im Zeitraum 2007 bis 2011 erfolgte ein Anstieg der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$ und $C_{mic-SIR}$) im Mineraloberboden sowie eine Abnahme des $C_{mic-CFE}$ - und eine Zunahme des $C_{mic-SIR}$ -Gehaltes in der Humusaufgabe. Es ist anzunehmen, dass sich die Nährstoffversorgung des Mineraloberbodens zum Jahr 2012 durch die Zunahme der endogäischen Regenwürmer verbessert hat, was zu einem Wachstum der mikrobiellen Biomasse geführt hat. Der starke Rückgang der Regenwürmer und Kleinringelwürmer zwischen 2012 und 2018 spiegelt sich in den mikrobiellen Biomassen nicht wider, da diese zwischen 2013 und 2019 einen deutlichen Anstieg zeigten.

4.11 BDF24 Bornhöved

4.11.1 Situation zur Probenahme

Tabelle 4.51: Temperatur und Niederschlag zum Jahreswechsel 2018/2019 der BDF24. Monatsdurchschnittstemperatur in °C, Monatsniederschlagssumme in mm.

Jahr	Monat	Monatsdurchschnitts- temperatur, °C	Niederschlag, mm/Monat
2018	Oktober	11,2	37
	November	5,9	18
	Dezember	5,1	81
2019	Januar	1,9	56
	Februar	4,7	50
	März	6,3	109
Dez. 18 - Feb. 19		3,9	187

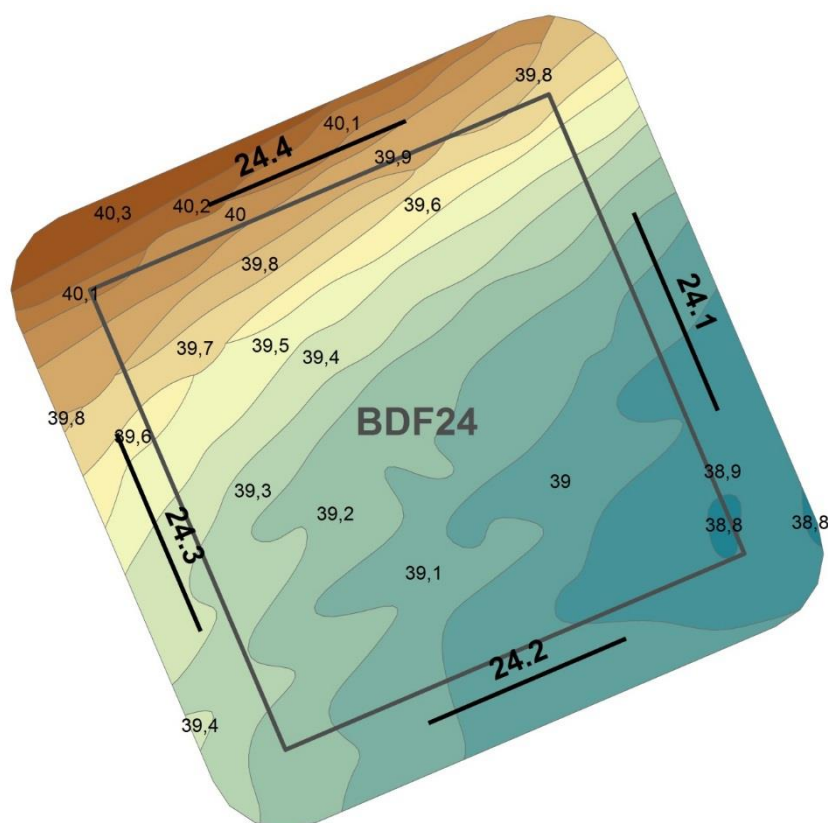


Abbildung 4.62: Lage der Probenentnahmestellen an der BDF24 (24.1-4).

Tabelle 4.52: Bedingungen während der Probenentnahme an der BDF24 (Probenentnahmeprotokoll). Für die Witterungsverhältnisse und die Bodenbeschaffenheit sind die Abkürzungen nach Ad-Hoc-ARBEITSGRUPPE BODEN, 2005, angegeben.

Bearbeiter	Schröder/ Henningsen
Datum	25.02.2019
Beginn	08:30 Uhr
Temperatur, GOF	-0,7°C
Temperatur, 10cm	1,6°C
Frost	0 Tage
Niederschlag	keine Niederschläge seit 24 Std.
Bodenfeuchte	schwach feucht, halbfest
Wasserüberstau	
Vegetation, Zusammensetzung	mit viel Kräutern
Nutzungsspuren	
Pflegemaßnahmen	nicht erkennbar
Tiereinflüsse	
Düngespuren	nicht erkennbar
Vegetation, Einheitlichkeit	einheitlich
Höhe Vegetation	5-10 cm
Bodenbedeckung	
Bemerkung	sehr viel Moos

4.11.2 Analyseergebnisse und Klassifikation

Im Jahr 2018 wurde die BDF24 Bornhöved als Mähweide genutzt. Die Bodenform ist Braunerde aus pleistozänem Geschiebedecksand. Der Boden wurde bis 10 cm beprobt. Die abiotischen Parameter sind in der Tabelle 4.53 dargestellt. Der Mineraloberboden wird nach Ad hoc AG-Boden (2005) aufgrund des geringen C_{org} -Gehalts als schwach humos eingestuft. Der N_t -Gehalt ist im Gesamtvergleich ebenfalls gering, ist jedoch ausreichend hoch, um eine hohe Humusqualität zu ermöglichen. Der Gehalt des gelösten Stickstoffs (N_{min}) liegt in einem für sandige Ackerflächen sehr niedrigen Bereich. Der N_{min} -Gehalt setzt sich in etwa zu 87 % aus Ammonium und zu 13 % aus Nitrat zusammen. Nitrit wurde nicht nachgewiesen. Die Trockenrohdichte ist als mittel hoch einzustufen. Der Boden wird durch den pH-Wert von 5,7 als schwach sauer eingestuft.

Die bodenmikrobiologischen Parameter der BDF24 befinden sich in der Tabelle 4.54. Die mikrobielle Biomasse ($C_{mic-CFE}$) wird für sandige Ackerböden als mittel hoch eingestuft während die glucoseaktivierte mikrobielle Biomasse ($C_{mic-SIR}$) der Einstufung als niedrig entspricht. Der Gehalt des mikrobiellen Stickstoffs ($N_{mic-CFE}$) ist ebenfalls niedrig. Auch die Basalatmung (R_{B-Hein}) weist niedrige Raten auf. Die Argininammonifikation (ARG) wird als sehr gering klassifiziert. Die mikrobiellen Quotienten ($Q_{mic-CFE}$ und $Q_{mic-SIR}$) sind hoch bis mittel hoch. Bei den metabolischen Quotienten erfolgt die Einstufung als niedrig für $Q_{met-CFE}$ und als mittel hoch für $Q_{met-SIR}$.

Tabelle 4.53: Ergebnisse der bodenchemischen Analyse 2019 der BDF24 (Bornhöved). Aufgeführt sind der organische Kohlenstoffgehalt (C_{org}) und der Gesamtstickstoffgehalt (N_t) in $cg\ g^{-1}TG$, sowie das Verhältnis von organischem Kohlenstoff zu Stickstoff im Boden (C_{org} / N_t), der gelöste Stickstoffgehalt (N_{min}) berechnet aus der Summe von Ammonium (NH_4^+-N), Nitrit (NO_2^-N) und Nitrat (NO_3^-N), die Trockenrohdichte in $g\ TG\ cm^{-3}$, der Wassergehalt in $mg\ g^{-1}\ TG$ und der pH gemessen in $CaCl_2$. Die Werte stellen jeweils den Mittelwert aus acht Parallelen dar und sind mit der Standardabweichung angegeben. Farbkodierungen zur Bewertung siehe Anhang Tabelle A 2, A 3, A 4 und A 5.

Boden-horizont	C_{org}	N_t	C_{org} / N_t	N_{min}	NH_4^+-N	NO_2^-N	NO_3^-N
Tiefe, cm	$cg\ g^{-1}\ TG$	$cg\ g^{-1}\ TG$		$\mu g\ g^{-1}\ TG$	$\mu g\ g^{-1}\ TG$	$\mu g\ g^{-1}\ TG$	$\mu g\ g^{-1}\ TG$
Ah bis -10	1,1	0,1	11,7	5,1	4,4	0,0	0,6
	$\pm 0,0$	$\pm 0,0$	$\pm 0,6$	$\pm 0,3$	$\pm 0,4$	$\pm 0,0$	$\pm 0,0$

Boden-horizont	$C_{org} / \text{Fläche}$	$N_t / \text{Fläche}$	$N_{min} / \text{Fläche}$	$N_{min} / \text{Fläche}$	Trockenroh-dichte	Wasser-gehalt	pH
Tiefe, cm	$g\ m^{-2}$ Horizonttiefe	$g\ m^{-2}$ Horizonttiefe	$g\ m^{-2}$ Horizonttiefe	$kg\ N\ ha^{-1}$ Horizonttiefe	$g\ TG\ cm^{-3}$	$mg\ g^{-1}\ TG$	
Ah bis -10	1697	145	0,8	7,5	1,5	115	5,7
	± 19	± 6	$\pm 0,0$	$\pm 0,5$	$\pm n.b.$	± 3	$\pm 0,1$

Tabelle 4.54: Ergebnisse der bodenmikrobiologischen Analyse 2019 der BDF24 (Bornhöved). Aufgeführt ist der mikrobielle Kohlenstoffgehalt, gemessen mit der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($C_{mic-CFE}$) und über die Substratinduzierte Atmung (SIR) mit der Heinemeyeraanalyse ($C_{mic-SIR}$), außerdem der mikrobielle Stickstoffgehalt, gemessen mit der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($N_{mic-CFE}$). Angegeben sind weiterhin die mikrobielle Basalatmung, gemessen als CO_2 -Produktionsrate mithilfe der Heinemeyeraanlage (R_{B-Hein}) und die potentielle Ammonifikation nach der Arginin-Ammonifikationsmethode (ARG). Des weiteren sind der metabolische Quotient und der mikrobielle Quotient jeweils aus den Ergebnissen der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($C_{mic-CFE}$) und der Heinemeyeraanlage ($C_{mic-SIR}$) berechnet. Die Werte stellen jeweils den Mittelwert aus acht Parallelen dar und sind mit der Standardabweichung angegeben. Farbkodierungen siehe Anhang A 6. Im unteren Teil der Tabelle sind die verschiedenen Parameter bezogen auf die Fläche angegeben.

Boden-horizont	$C_{mic-CFE}$	$C_{mic-SIR}$	$N_{mic-CFE}$	R_{B-Hein}	ARG	$Q_{mic-CFE}$ $C_{mic-CFE} / C_{org}$	$Q_{mic-SIR}$ $C_{mic-SIR} / C_{org}$
Tiefe, cm	$\mu g\ g^{-1} TG$	$\mu g\ g^{-1} TG$	$\mu g\ g^{-1} TG$	$\mu g\ CO_2-C\ g^{-1} TG\ h^{-1}$	$\mu g\ NH_4^+-N\ g^{-1} TG\ h^{-1}$	%	%
Ah bis -10	445	262	29	0,5	1,3	3,9	2,3
	± 26	± 10	± 2	$\pm 0,0$	$\pm 0,3$	$\pm 0,3$	$\pm 0,1$

Boden-horizont	$C_{mic-CFE} /$ Fläche	$C_{mic-SIR} /$ Fläche	$N_{mic-CFE} /$ Fläche	$R_{B-Hein} /$ Fläche	ARG / Fläche	$Q_{met-CFE}$ $R_{B-Hein} / C_{mic-CFE}$	$Q_{met-SIR}$ $R_{B-Hein} / C_{mic-SIR}$
Tiefe, cm	$g\ m^{-2}$ Horizonttiefe	$g\ m^{-2}$ Horizonttiefe	$g\ m^{-2}$ Horizonttiefe	$mg\ CO_2-C\ m^{-2}\ h^{-1}$ Horizonttiefe	$mg\ NH_4^+-N\ m^{-2}\ h^{-1}$ Horizonttiefe	$\mu g\ CO_2-C\ mg^{-1}\ C_{mic-CFE}\ h^{-1}$	$\mu g\ CO_2-C\ mg^{-1}\ C_{mic-SIR}\ h^{-1}$
Ah bis -10	66	39	4,4	69	189	1,0	1,8
	± 4	± 1	$\pm 0,2$	± 4	± 41	$\pm 0,1$	$\pm 0,1$

4.11.3 Zeitreihenvergleich

Die zeitliche Entwicklung des organischen Kohlenstoffs (C_{org}) im Mineraloberboden der BDF24 unterlag, trotz Änderung der Beprobungstiefe ab 2011 von 30 cm auf 10 cm, nur schwachen Änderungen im gesamten Untersuchungszeitraum (Abbildung 4.63). Der C_{org} -Gehalt scheint somit über die ersten 30 cm Bodentiefe gleichmäßig verteilt zu sein und nimmt mit dieser Tiefe nicht wesentlich ab. Die Beprobungstiefe beträgt seit 2011 10 cm, und der Boden wurde seit 2011 drei Mal bis maximal 25 cm gepflügt. Dies hat eine Auswirkung auf die Werte. Der Boden-pH stieg zwischen den Jahren 1995 und 2001 deutlich an und blieb bis ins Jahr 2010 konstant. Bis 2013 nahm der pH leicht ab, stieg zum Jahr 2016 und 2019 jedoch erneut deutlich an, was vermutlich auf eine Kalkung auf diesem Standort zurückzuführen ist. Die mikrobielle Biomasse ($C_{mic-CFE}$) nahm zwischen 1995 und 2005 um etwa ein Drittel ab, stieg jedoch ab diesem Zeitpunkt bis 2010 an. Die Werte der mikrobiellen Biomasse waren in den Jahren 2011 bis 2016 deutlich höher als in den Vorjahren. Dieses ist vermutlich durch die Reduzierung der Beprobungstiefe begründet. Zum Untersuchungsjahr 2016 nahm der $C_{mic-CFE}$ -Gehalt vermutlich durch die deutliche Erhöhung des pH-Wertes sehr stark zu. Zum Jahr 2019 erfolgte jedoch eine deutliche Abnahme der mikrobiellen Biomasse. Die glucoseaktivierte mikrobielle Biomasse ($C_{mic-SIR}$) zeigte sich abwechselnde Zu- und Abnahmen, insgesamt jedoch erreichte sie im Untersuchungsjahr 2016 den bisherigen Höchstwert und nahm zum Jahr 2019 erneut ab. Der mikrobielle Quotient ($Q_{mic-CFE}$) erfuhr zwischen den Untersuchungsjahren 1995 und 2005 eine leichte Abnahme, welche von einem Anstieg um das Dreifache bis ins Jahr 2011 gefolgt wurde. Zum Jahr 2013 verringerte sich dieser Quotient um ein Drittel, verdreifachte sich jedoch anschließend zum Jahr 2016 und nahm zum Jahr 2019 deutlich ab. Der mikrobielle Quotient der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{mic-SIR}$) zeigte sich abwechselnde Zu- und Abnahmen über nahezu den gesamten Untersuchungszeitraum. Die Höchstwerte lagen dabei in den Jahren 2001, 2010 und 2016. Zum Jahr 2019 folgte eine deutliche Abnahme.

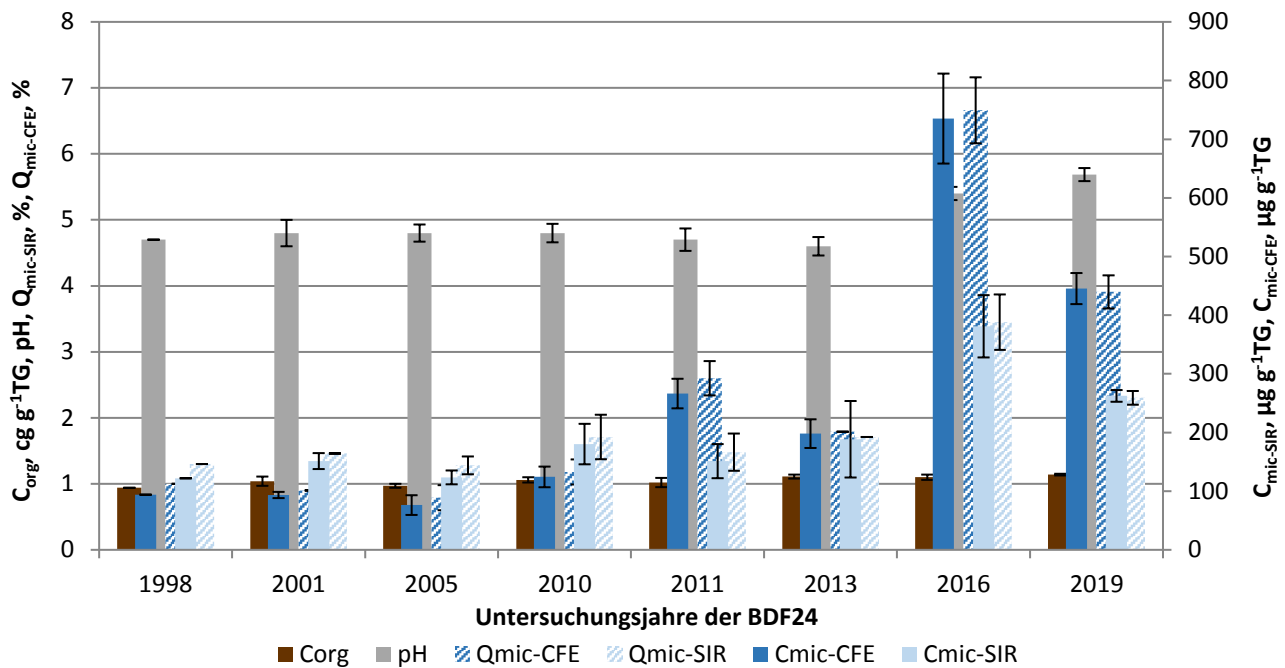


Abbildung 4.63: Ergebnisse der BDF24 der gesamten Untersuchungsjahre des organischen Kohlenstoffgehaltes (C_{org}), des pH-Wertes, der gesamten ($C_{mic-CFE}$) und der glucoseaktivierten ($C_{mic-SIR}$) mikrobiellen Biomasse und des Anteils dieser Biomasse am organischen Kohlenstoffgehalt ($Q_{mic-CFE}$ und $Q_{mic-SIR}$). Fehlerbalken stellen die Standardabweichung aus vier Einzelergebnissen dar.

Die Basalatmung (R_{B-Hein}) bewegte sich im gesamten Untersuchungszeitraum auf einem sehr niedrigen Niveau (Abbildung 4.64). Zum Jahr 2016 stieg diese, vermutlich ebenso durch die pH-Wert-Erhöhung, jedoch geringfügig auf den bisher höchsten Wert. Der metabolische Quotient ($Q_{met-CFE}$) nahm von dem Höchstwert des Jahres 2005 bis zum Untersuchungsjahr 2016 kontinuierlich bis zum niedrigsten Wert ab. Zum Jahr 2019 reduzierte sich die Basalatmung, während der metabolische Quotient leicht zunahm.

Die zeitliche Entwicklung der Argininammonifikation (ARG) und des Gehalts an löslichem Stickstoff (N_{min}) im Mineraloberboden ist in der Abbildung 4.65 dargestellt. Zu erkennen ist, dass sich die Argininammonifikation zwischen den Jahren 1995 und 2001 mehr als verdoppelt hat. Es folgten eine merkliche Abnahme bis zum Jahr 2005 sowie ein erneuter Anstieg zwischen 2010 und 2011. Dieses Niveau blieb bis zum Untersuchungsjahr 2016 erhalten. Der N_{min} -Gehalt zeigte sehr starke Schwankungen mit ausgeprägten Peaks in den Jahren 1995 und 2011. Zwischen den Jahren 2011 und 2013 sank der N_{min} -Gehalt um mehr als die Hälfte, stieg zum Untersuchungsjahr 2016 jedoch leicht an. Beide Parameter nahmen zum Jahr 2019 erneut ab.

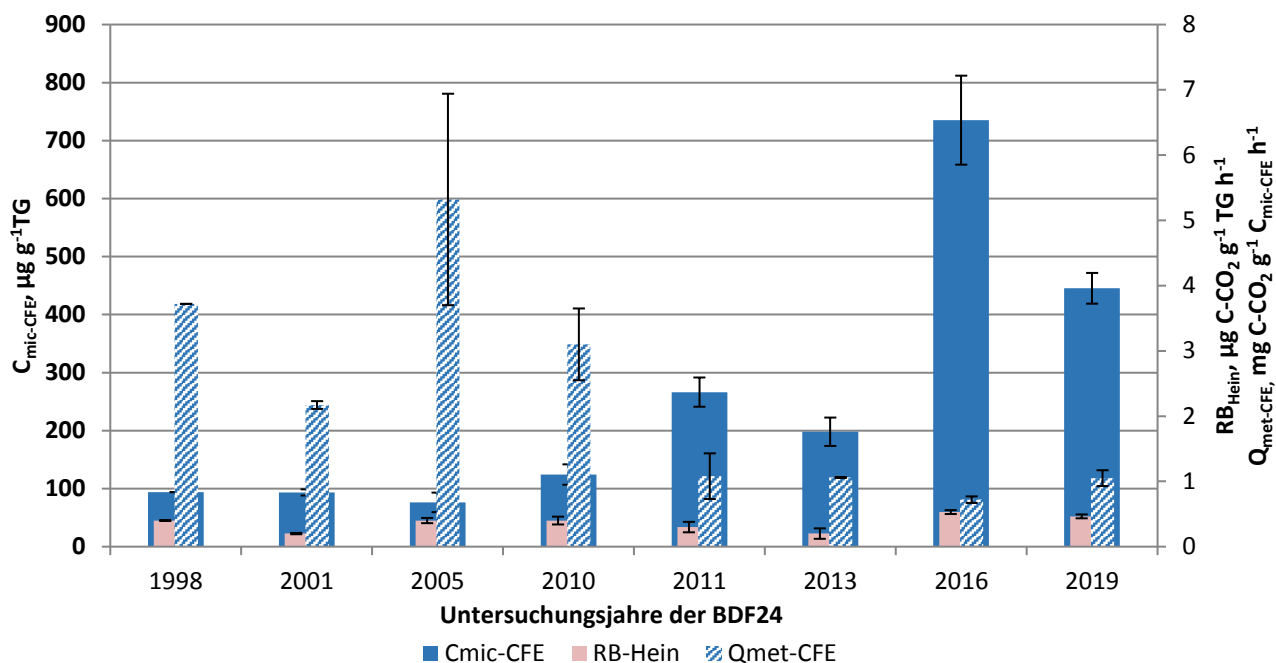


Abbildung 4.64: Ergebnisse der mikrobiellen Aktivität der BDF24 der gesamten Untersuchungsjahre, dargestellt anhand der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$), ihrer Basalatmung (R_{B-Hein}) und der mikrobiellen Aktivität ($Q_{met-CFE}$) bezogen auf das Trockengewicht.

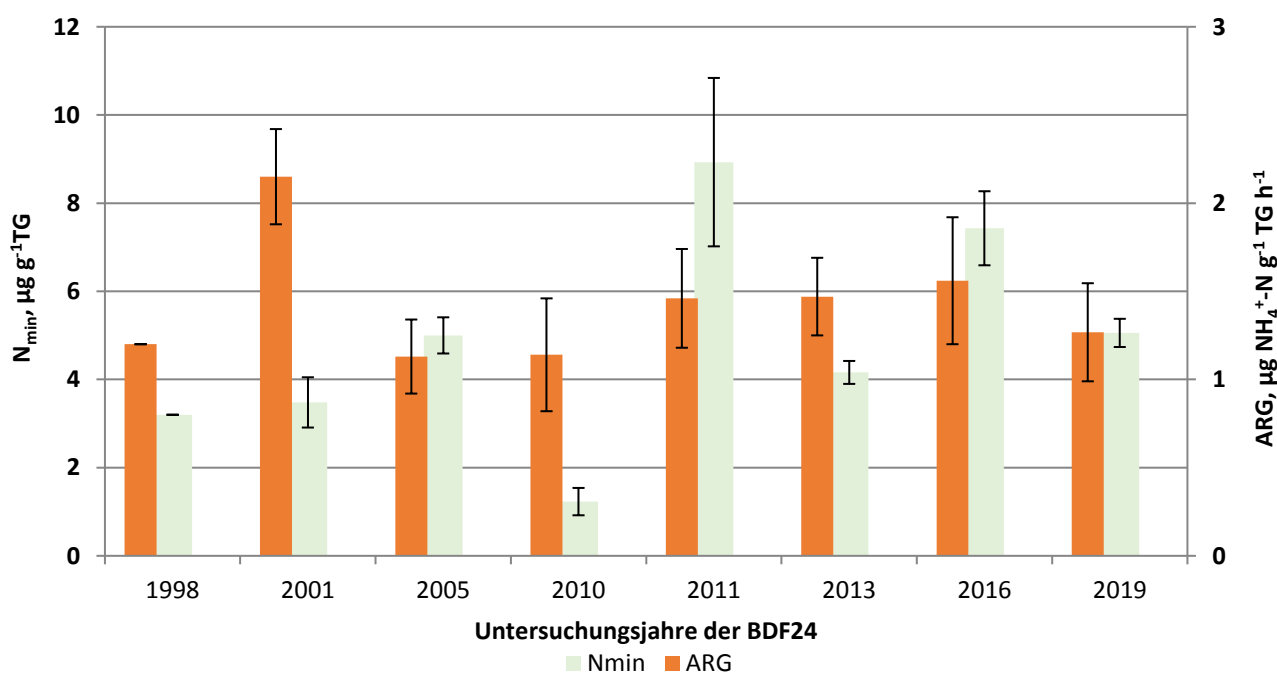


Abbildung 4.65: Darstellung des löslichen Stickstoffs (N_{min}) und der Argininammonifikation (ARG) der gesamten Untersuchungsjahre der BDF24.

Tabelle 4.55: Vergleich von mikrobiologischen und abiotischen Analyseergebnissen aus den neun Beprobungsjahren der BDF24. Angegeben ist jeweils der Mittelwert aus mindestens drei Parallelen und, wenn berechnet, die Standardabweichung dieses Wertes. Eine genauere Beschreibung der Tabelle ist im Anhang A 7.

Jahr	Boden- horizont Tiefe, cm	$C_{mic-CFE}$	$C_{mic-SIR}$ Hein	$N_{mic-CFE}$	$R_B\text{-Hein}$	ARG	$Q_{met-CFE}$ $R_B\text{-Hein} /$ $C_{mic-CFE}$	$Q_{met-SIR}$ $R_B\text{-Hein} /$ $C_{mic-SIR}$	N_{min}	C_{org}	N_t	C_{org} / N_t
		$\mu\text{g g}^{-1}\text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1}\text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1}\text{TG}$	$\mu\text{g CO}_2\text{-C}$ $\text{g}^{-1}\text{TG h}^{-1}$	$\mu\text{g NH}_4^{+}\text{-N}$ $\text{g}^{-1}\text{TG h}^{-1}$	$\mu\text{g CO}_2\text{-C}$ $\text{mg}^{-1} C_{mic-CFE}$ h^{-1}	$\mu\text{g CO}_2\text{-C}$ $\text{mg}^{-1} C_{mic-SIR}$ h^{-1}	$\mu\text{g g}^{-1}\text{TG}$	$\text{cg g}^{-1}\text{TG}$	$\text{cg g}^{-1}\text{TG}$	
1995	A	110	n.b.	3	n.b.	0,9	n.b.	n.b.	10,6	0,9	0,1	14,9
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
1998	A bis -30	94	122	15	0,4	1,2	3,7	2,9	3,2	0,9	0,0	23,5
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
2001	A bis -30	94	151	11	0,2	2,2	2,2	1,3	3,5	1,0	0,1	9,2
		± 5	± 14	± 2	$\pm 0,0$	$\pm 0,3$	$\pm 0,1$	$\pm 0,1$	$\pm 0,6$	$\pm 0,1$	$\pm 0,0$	$\pm 1,6$
2005	A bis -30	76	124	16	0,4	1,1	5,3	3,2	5,0	1,0	0,1	12,2
		± 17	± 12	n.b.	$\pm 0,0$	$\pm 0,2$	$\pm 1,6$	$\pm 0,5$	$\pm 0,4$	$\pm 0,0$	$\pm 0,0$	$\pm 1,2$
2010	A bis -30	124	180	n.b.	0,4	1,1	3,1	2,2	1,2	1,1	0,1	12,3
		± 18	± 35	n.b.	$\pm 0,1$	$\pm 0,3$	$\pm 0,6$	$\pm 0,6$	$\pm 0,3$	$\pm 0,0$	$\pm 0,0$	$\pm 2,6$
2011	A bis -10	266	151	n.b.	0,3	1,5	1,1	1,8	8,9	1,0	0,1	10,7
		± 25	± 29	n.b.	$\pm 0,1$	$\pm 0,3$	$\pm 0,4$	$\pm 0,2$	$\pm 1,9$	$\pm 0,1$	$\pm 0,0$	$\pm 0,4$
2013	A bis -10	198	189	18	0,2	1,5	1,1	1,1	4,2	1,1	0,1	10,0
		± 24	± 65	± 2	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$	$\pm 0,5$	$\pm 0,7$	$\pm 0,3$	$\pm 0,0$	$\pm 0,0$	$\pm 0,2$
2016	A bis -10	735	381	31	0,5	1,6	0,7	1,4	7,4	1,1	0,1	10,4
		± 77	± 53	± 4	$\pm 0,0$	$\pm 0,4$	$\pm 0,1$	$\pm 0,1$	$\pm 0,8$	$\pm 0,0$	$\pm 0,0$	$\pm 0,2$
2019	A bis -10	445	262	29	0,5	1,3	1,0	1,8	5,1	1,1	0,1	11,7
		± 26	± 10	± 2	$\pm 0,0$	$\pm 0,3$	$\pm 0,1$	$\pm 0,1$	$\pm 0,3$	$\pm 0,0$	$\pm 0,0$	$\pm 0,6$

Fortsetzung: Tabelle 4.55

Jahr	Boden- horizont	$C_{mic-CFE} /$ Fläche	$C_{mic-SIR} /$ Fläche	$N_{mic-CFE} /$ Fläche	$R_{B-Hein} /$ Fläche	ARG / Fläche	$Q_{mic-CFE} /$ $C_{mic-CFE} /$ C_{org}	$Q_{mic-SIR} /$ $C_{mic-SIR} /$ C_{org}	$N_{min} /$ Fläche	$C_{org} /$ Fläche	$N_t /$ Fläche	pH
		$g\ m^{-2}$	$g\ m^{-2}$	$g\ m^{-2}$	$mg\ CO_2-C$ $m^{-2}\ h^{-1}$	$mg\ NH_4^+-$ $N\ m^{-2}\ h^{-1}$	%	%	$kg\ ha^{-1}$	$g\ m^{-2}$	$g\ m^{-2}$	
1995	A	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	1,3	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	4,2
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
1998	A bis -30	45,1	58,6	7,3	168,0	576,0	1,0	1,3	15,4	4512	192	4,7
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
2001	A bis -30	45,2	73,1	5,4	98,0	1039	0,9	1,5	16,8	5013	580	4,8
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	± 0,2
2005	A bis -30	33,4	54,1	6,9	168,6	492,8	0,8	1,3	21,9	4227	350	4,8
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	± 0,2	± 0,1	n.b.	n.b.	n.b.	± 0,1
2010	A bis -30	58,9	85,5	n.b.	180,6	539,9	1,2	1,7	5,8	5001	420	4,8
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	± 0,2	± 0,3	n.b.	n.b.	n.b.	± 0,1
2011	A bis -10	41,3	23,4	n.b.	43,7	226,1	2,6	1,5	13,8	1584	148	4,7
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	± 0,3	± 0,3	n.b.	n.b.	n.b.	± 0,2
2013	A bis -10	26,4	25,1	2,4	28,0	196,3	1,8	1,7	5,6	1472	150	4,6
		± 3,8	± 8,7	± 0,4	± 12,7	± 29,6	± 0,2	± 0,5	± 0,4	± 41	± 7	± 0,1
2016	A bis -10	114,3	59,2	4,8	82,0	242,0	6,7	3,5	11,6	1712	165	5,4
		± 11,9	± 8,3	± 0,6	± 4,7	± 56,0	± 0,5	± 0,4	± 1,3	± 56	± 6	± 0,1
2019	A bis -10	66,3	39,1	4,4	69,1	188,8	3,9	2,3	7,5	1697	145	5,7
		± 3,9	± 1,5	± 0,2	± 4,5	± 41,4	± 0,3	± 0,1	± 0,5	± 19	± 6	± 0,1

4.11.4 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zu abiotischen Standortfaktoren

Der Boden-pH-Wert zeigt nach seinem deutlichen Anstieg zum Jahr 2016 sechs signifikante Korrelationen mit den bodenmikrobiologischen Parametern. Dazu zählen: $C_{mic-CFE}$ ($r = 0,752$, $p < 0,05$, $N = 8$), $Q_{mic-CFE}$ ($r = 0,730$, $p < 0,05$, $N = 8$), $C_{mic-SIR}$ ($r = 0,882$, $p < 0,01$, $N = 7$), $Q_{mic-SIR}$ ($r = 0,905$, $p < 0,01$, $N = 7$), $N_{mic-CFE}$ ($r = 0,913$, $p < 0,05$, $N = 6$) und R_{B-Hein} ($r = 0,806$, $p < 0,05$, $N = 7$). Daraus folgt, dass höhere pH-Werte mit höheren mikrobiologischen Aktivitäten einhergingen.

Zudem korrelieren beide metabolischen Quotienten signifikant mit dem C_{org} -Gehalt ($Q_{met-CFE}$: $r = -0,762$, $Q_{met-SIR}$: $r = -0,868$, $p < 0,05$, $N = 7$). Bei höheren C_{org} -Gehalten zeigten die Mikroorganismen tendenziell einen effizienteren Stoffwechsel. Der gleiche Zusammenhang zeigt sich ebenso bei dem Gesamtstickstoffgehalt (N_t) und dem $Q_{met-SIR}$ ($r = -0,832$, $p < 0,05$, $N = 7$). Auch die Argininammonifikation (ARG) zeigte höhere Raten mit höheren N_t -Gehalten ($r = 0,750$, $p < 0,05$, $N = 8$). Der Gehalt des mikrobiellen Stickstoffs ($N_{mic-CFE}$) zeigte höhere Werte unter trockeneren Bedingungen im Boden (bodenkundliche Feuchtestufe, $r = -0,908$, $p < 0,05$, $N = 5$).

4.11.5 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zum Klima und zur Witterung

Statistisch signifikante Korrelationen zwischen den bodenmikrobiologischen und den klimatischen Parametern bestehen nicht. Es ist jedoch möglich, dass die deutliche Zunahme der Vorjahrestemperatur und -niederschläge (neben dem pH-Anstieg) einen wesentlichen Anteil an der starken Zunahme der mikrobiellen Biomasse zwischen den Jahren 2013 und 2016 hatte.

4.11.6 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Bewirtschaftung

Die Fläche wurde zwischen 2009 und 2011 als Weidegrünland für Schafe bewirtschaftet. Diese Bewirtschaftung beinhaltete auch den Einsatz von Rindergülle als organisches Düngemittel. Die Bodenmikrobiologie reagierte auf die Düngung mit einer starken Zunahme der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$) in diesem Zeitraum. Nach dem Grünlandumbruch im Jahr 2012 und der Nutzungsänderung zum Maisanbau zeigte die mikrobielle Biomasse einen Rückgang zum Untersuchungsjahr 2013. Die spätere Nutzung als Acker zum Futterpflanzenanbau (Ackergras und Luzernengras) begünstigte durch ihren grünlandähnlichen Charakter die Entwicklung der mikrobiellen Biomasse. Auch die organische Düngung sowie die Bodenkalkung trugen zu dem sehr starken Anstieg der mikrobiellen Biomasse zur Untersuchung 2016 bei. Im Jahr 2018 wurde der Standort mit deutlich weniger Gülle sowie Stickstoff und Phosphor versorgt, so dass dieses möglicherweise den deutlichen Rückgang der mikrobiellen Biomassegehalte bewirkte.

4.11.7 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Vegetationskunde

Der Klee grasbewuchs im Zeitraum der Grünlandnutzung begünstigte durch die stickstofffixierenden Rhizobien die Stickstoffversorgung im Boden. Inwieweit die Zunahme der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$) von der Stickstofffixierung beeinflusst wurde, lässt sich aufgrund der gleichzeitigen Gabe organischer Düngemittel sowie der Beweidung durch Schafe nicht abschätzen. Auch der spätere Anbau von Luzernengras begünstigte die Stickstoffversorgung im Boden und somit die Entwicklung der mikrobiellen Biomasse.

4.11.8 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Bodenzologie

Die letzte Bodenzologische Untersuchung erfolgte im Jahr 2015. Es wurde im Vergleich zu der Voruntersuchung (2005) eine deutliche Zunahme in der Biomasse und in der Abundanz der Regenwürmer sowie in der Siedlungsdichte der Kleinringelwürmer beobachtet. Die Tendenz der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$ und $C_{mic-SIR}$) war im Zeitraum 2005 bis 2016 ebenfalls stark zunehmend. Die Verschiebung der Zersetzergesellschaft vom Verband Enchytraeion zum Verband Lumbricion, welcher gut durchlüftete, ungestörte Böden anzeigt, korreliert mit der Zunahme der mikrobiellen Effizienz, welche auf wenig gestörte Bodenverhältnisse hindeutet.

4.12 BDF31 Pinneberg

4.12.1 Situation bei der Probenahme

Tabelle 4.56: Temperatur und Niederschlag zum Jahreswechsel 2018/2019 an der BDF31. Monatsdurchschnittstemperatur in °C, Monatsniederschlagssumme in mm.

Jahr	Monat	Monatsdurchschnittstemperatur, °C	Niederschlag, mm/Monat
2018	Oktober	11,2	39
	November	5,8	19
	Dezember	5,4	89
2019	Januar	2,1	62
	Februar	5,1	38
	März	7	85
Dez. 18 - Feb. 19		4,2	189

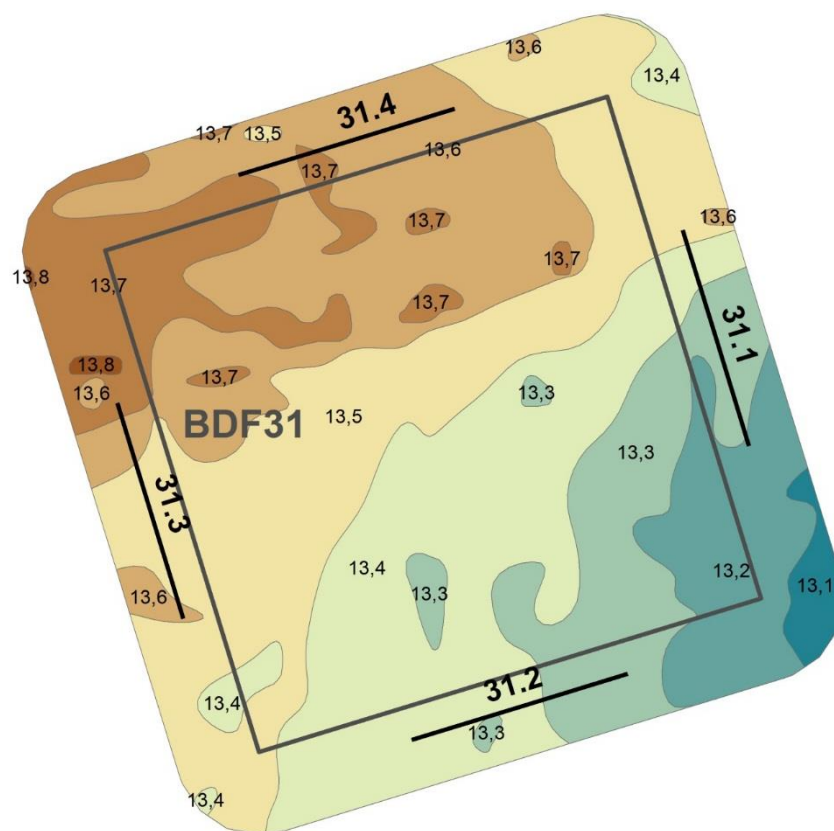


Abbildung 4.66: Lage der Probenentnahmestellen an der BDF31 (31.1-4).

Tabelle 4.57: Bedingungen während der Probenentnahme an der BDF31 (Probenentnahmeprotokoll). Für die Witterungsverhältnisse und die Bodenbeschaffenheit sind die Abkürzungen nach Ad-Hoc-ARBEITSGRUPPE BODEN, 2005, angegeben.

Bearbeiter	Herr Schröder, Herr Henningsen
Datum	26.02.2019
Beginn	09:30 Uhr
Temperatur, GOF	4,8°C
Temperatur, 10cm	0,7°C
Tage ohne Frost	0 Tage
Niederschlag	keine Niederschläge in den letzten 24 Std
Bodenfeuchte	schwach feucht-feucht, halbfest-steif
Bodengefüge	Einzelkorngefüge
Verschlämmung	schwache bis mäßige Verschlämmung
Wurmrohren	keine Röhren
Wurmlosung	keine
Bodenbearbeitung	Bodenbearbeitung nicht erkennbar
Düngespuren	frische Spuren von Mineraldünger und Kalk
Kulturart	Laubhölzer
Bemerkung	Wasser im Rohr: 2,03 m

4.12.3 Analyseergebnisse und Klassifikation

Die BDF31 Pinneberg zuletzt als Baumschule und zwischenzeitlich als Pferdeweide bewirtschaftet. Die Bodenform ist Braunerde aus pleistozänem Geschiebedecksand. Der Boden wurde bis 30 cm Tiefe beprobt. Die abiotischen Parameter sind in der Tabelle 4.58 dargestellt. Der Gehalt des organischen Kohlenstoffs (C_{org}) ist nahezu doppelt so hoch wie auf der BDF24 Bornhöved und der Boden wird gemäß Ad hoc AG-Boden (2005) als mittel humos eingestuft. Der Gehalt des Gesamtstickstoffs (N_t) reicht jedoch lediglich für eine mittel hohe Humusqualität im C_{org}/N_t -Verhältnis. Der Gehalt des löslichen Stickstoffs (N_{min}) ist für sandige Ackerböden gering und setzt sich zu etwa 60 % aus Nitrat und zu 40 % aus Ammonium zusammen. Die Trockenrohdichte des Bodens wird als mittel hoch eingestuft und ist leicht niedriger als die Trockenrohdichte der BDF24. Der Boden der BDF31 wird anhand des pH-Wertes als mäßig sauer eingestuft.

Die bodenmikrobiologischen Parameter befinden sich in der Tabelle 4.59. Die mikrobielle Biomasse ($C_{mic-CFE}$) der BDF wird für sandige Ackerflächen als hoch eingestuft, die glucoseaktivierte mikrobielle Biomasse ($C_{mic-SIR}$) dagegen als sehr niedrig. Letztere ist um etwa die Hälfte niedriger als bei der Vergleichsfläche BDF24. Der Gehalt des mikrobiellen Stickstoffs ($N_{mic-CFE}$) ist ebenso sehr niedrig. Gleiches gilt für die Argininammonifikation (ARG). Die Basalatmung (R_{B-Hein}) weist dagegen hohe Raten auf. Die mikrobiellen Quotienten werden bei der gesamten mikrobiellen Biomasse ($Q_{mic-CFE}$) als hoch und bei der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{mic-SIR}$) als niedrig eingestuft. Bei den metabolischen Quotienten verhält sich die Einstufung entgegengesetzt, wobei der $Q_{met-CFE}$ als niedrig und der $Q_{met-SIR}$ als hoch eingestuft werden.

Tabelle 4.58: Ergebnisse der bodenchemischen Analyse 2019 der BDF31 (Pinneberg). Aufgeführt sind der organische Kohlenstoffgehalt (C_{org}) und der Gesamtstickstoffgehalt (N_t) in $cg\ g^{-1}TG$, sowie das Verhältnis von organischem Kohlenstoff zu Stickstoff im Boden (C_{org} / N_t), der gelöste Stickstoffgehalt (N_{min}) berechnet aus der Summe von Ammonium (NH_4^+-N), Nitrit ($NO_2^- -N$) und Nitrat ($NO_3^- -N$), die Trockenrohdichte in $g\ TG\ cm^{-3}$, der Wassergehalt in $mg\ g^{-1}\ TG$ und der pH gemessen in $CaCl_2$. Die Werte stellen jeweils den Mittelwert aus acht Parallelen dar und sind mit der Standardabweichung angegeben. Farbkodierungen zur Bewertung siehe Anhang Tabelle A 2, A 3, A 4 und A 5.

Boden-horizont	C_{org}	N_t	C_{org} / N_t	N_{min}	NH_4^+-N	$NO_2^- -N$	$NO_3^- -N$
Tiefe, cm	$cg\ g^{-1}\ TG$	$cg\ g^{-1}\ TG$		$\mu g\ g^{-1}\ TG$	$\mu g\ g^{-1}\ TG$	$\mu g\ g^{-1}\ TG$	$\mu g\ g^{-1}\ TG$
Ah bis -30	2,1	0,1	15,6	3,0	1,2	0,0	1,8
	$\pm 0,2$	$\pm 0,0$	$\pm 0,4$	$\pm 0,5$	$\pm 0,4$	$\pm 0,0$	$\pm 0,3$

Boden-horizont	$C_{org} / \text{Fläche}$	$N_t / \text{Fläche}$	$N_{min} / \text{Fläche}$	$N_{min} / \text{Fläche}$	Trockenroh-dichte	Wasser-gehalt	pH
Tiefe, cm	$g\ m^{-2}$ Horizonttiefe	$g\ m^{-2}$ Horizonttiefe	$g\ m^{-2}$ Horizonttiefe	$kg\ N\ ha^{-1}$ Horizonttiefe	$g\ TG\ cm^{-3}$	$mg\ g^{-1}\ TG$	
Ah bis -30	8862	567	1,2	12,4	1,4	143	4,9
	± 997	± 63	$\pm 0,2$	$\pm 2,1$	$\pm n.b.$	± 14	$\pm 0,2$

Tabelle 4.59: Ergebnisse der bodenmikrobiologischen Analyse 2019 der BDF31 (Pinneberg). Aufgeführt ist der mikrobielle Kohlenstoffgehalt, gemessen mit der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($C_{mic-CFE}$) und über die Substratinduzierte Atmung (SIR) mit der Heinemeyeraanalyse ($C_{mic-SIR}$), außerdem der mikrobielle Stickstoffgehalt, gemessen mit der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($N_{mic-CFE}$). Angegeben sind weiterhin die mikrobielle Basalatmung, gemessen als CO_2 -Produktionsrate mithilfe der Heinemeyeraanlage (R_{B-Hein}) und die potentielle Ammonifikation nach der Arginin-Ammonifikationsmethode (ARG). Des weiteren sind der metabolische Quotient und der mikrobielle Quotient jeweils aus den Ergebnissen der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($C_{mic-CFE}$) und der Heinemeyeraanlage ($C_{mic-SIR}$) berechnet. Die Werte stellen jeweils den Mittelwert aus acht Parallelen dar und sind mit der Standardabweichung angegeben. Farbkodierungen siehe Anhang A 6. Im unteren Teil der Tabelle sind die verschiedenen Parameter bezogen auf die Fläche angegeben.

Boden-horizont	$C_{mic-CFE}$	$C_{mic-SIR}$	$N_{mic-CFE}$	R_{B-Hein}	ARG	$Q_{mic-CFE}$ $C_{mic-CFE} / C_{org}$	$Q_{mic-SIR}$ $C_{mic-SIR} / C_{org}$
Tiefe, cm	$\mu g\ g^{-1} TG$	$\mu g\ g^{-1} TG$	$\mu g\ g^{-1} TG$	$\mu g\ CO_2-C$ $g^{-1} TG\ h^{-1}$	$\mu g\ NH_4^+-N$ $g^{-1} TG\ h^{-1}$	%	%
Ah bis -30	413	123	< 5	0,4	1,0	2,0	0,6
	± 45	± 17	$\pm n.b.$	$\pm 0,0$	$\pm 0,3$	$\pm 0,0$	$\pm 0,1$

Boden-horizont	$C_{mic-CFE} /$ Fläche	$C_{mic-SIR} /$ Fläche	$N_{mic-CFE} /$ Fläche	$R_{B-Hein} /$ Fläche	ARG / Fläche	$Q_{met-CFE}$ $R_{B-Hein} / C_{mic-CFE}$	$Q_{met-SIR}$ $R_{B-Hein} / C_{mic-SIR}$
Tiefe, cm	$g\ m^{-2}$ Horizonttiefe	$g\ m^{-2}$ Horizonttiefe	$g\ m^{-2}$ Horizonttiefe	$mg\ CO_2-C$ $m^{-2}\ h^{-1}$ Horizonttiefe	$mg\ NH_4^+-N$ $m^{-2}\ h^{-1}$ Horizonttiefe	$\mu g\ CO_2-C$ $mg^{-1} C_{mic-CFE}\ h^{-1}$	$\mu g\ CO_2-C$ $mg^{-1} C_{mic-SIR}\ h^{-1}$
Ah bis -30	174	52	< 2,1	150	409	0,9	2,9
	± 19	± 7	$\pm n.b.$	± 11	± 106	$\pm 0,0$	$\pm 0,2$

4.12.4 Zeitreihenvergleich

Abbildung 4.67 zeigt die zeitliche Entwicklung abiotischer und bodenmikrobiologischer Parameter der BDF31 über den gesamten Untersuchungszeitraum. Der Gehalt organischen Kohlenstoffs (C_{org}) befand sich zwischen den Untersuchungsjahren 2005 und 2019 auf einem weitgehend konstanten Niveau. Zuvor zeigte der C_{org} -Gehalt Schwankungen und befand sich im Jahr 1998 auf dem bisher niedrigsten Stand. Der Boden-pH zeigte den höchsten Wert im Jahr 1995 und sank bis zum Jahr 2010 um drei Zehntel. Zum Untersuchungsjahr 2016 erfolgte ein leichter Anstieg des pH. Dieser blieb bis zum Jahr 2019 unverändert.

Die mikrobielle Biomasse ($C_{\text{mic-CFE}}$) nahm zwischen den Jahren 1995 und 2001 um etwa ein Viertel ab. Es folgten ein Anstieg zum Jahr 2005 sowie eine erneute Abnahme zum Jahr 2010. Zum Jahr 2013 hat sich die $C_{\text{mic-CFE}}$ schließlich mehr als verdoppelt, ebenso zum Untersuchungsjahr 2016. Zum Untersuchungsjahr 2019 zeigte sich lediglich ein leichter Anstieg der mikrobiellen Biomasse. Die glucoseaktivierte mikrobielle Biomasse ($C_{\text{mic-SIR}}$) zeigte eine andere Entwicklung über die Jahre. Diese zeigte einen deutlichen Peak im Jahr 2001, gefolgt von einer Abnahme zum Jahr 2005. Zwischen 2005 und 2013 zeigte die $C_{\text{mic-SIR}}$ vergleichsweise geringe Schwankungen, stieg zum Jahr 2016 jedoch auf den bisher höchsten Stand. Zum Jahr 2019 folgte eine deutliche Abnahme im Gehalt der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse.

Der mikrobielle Quotient ($Q_{\text{mic-CFE}}$) zeigte sich abwechselnde Zu- und Abnahmen bis zum Untersuchungsjahr 2013, und verdoppelte sich anschließend zum Untersuchungsjahr 2016 und nahm auch zum Jahr 2019 leicht zu. Der mikrobielle Quotient der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{\text{mic-SIR}}$) nahm zwischen den Jahren 1995 und 2013 insgesamt geringfügig ab, erhöhte sich jedoch leicht zum Untersuchungsjahr 2016. Es folgte eine Abnahme des $Q_{\text{mic-SIR}}$ zum Jahr 2019.

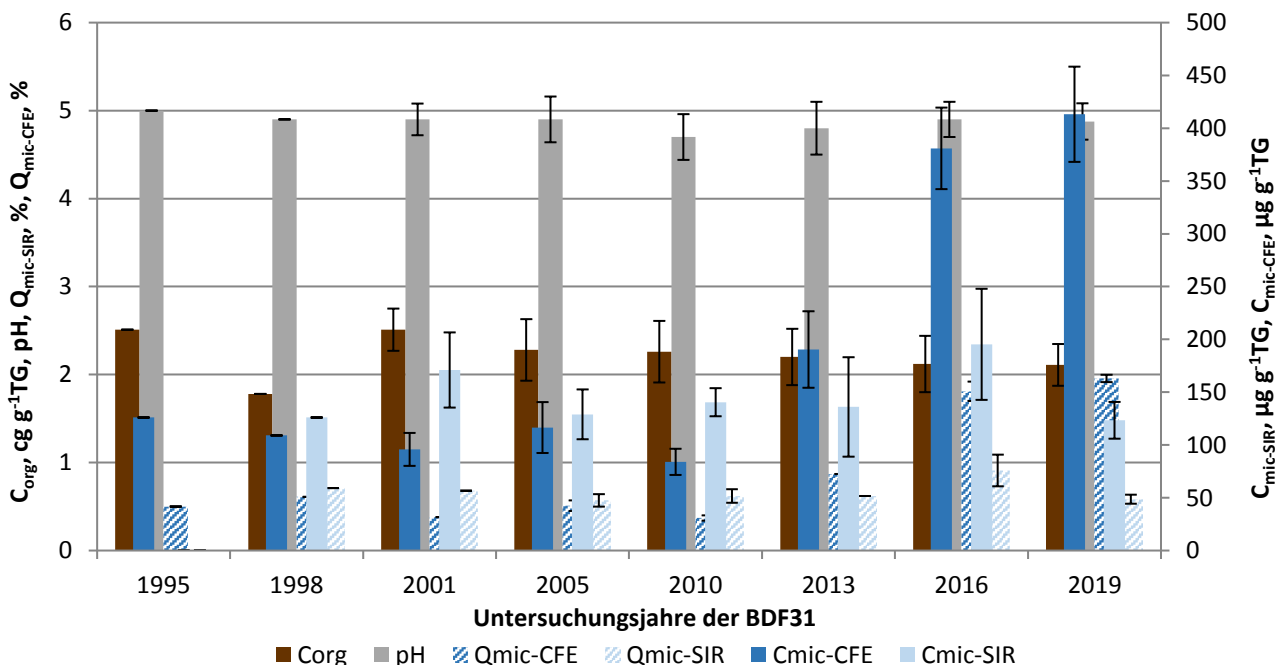


Abbildung 4.67: Ergebnisse der BDF31 der gesamten Untersuchungsjahre des organischen Kohlenstoffgehaltes (C_{org}), des pH-Wertes, der gesamten ($C_{\text{mic-CFE}}$) und der glucoseaktivierten ($C_{\text{mic-SIR}}$) mikrobiellen Biomasse und des Anteils dieser Biomasse am organischen Kohlenstoffgehalt ($Q_{\text{mic-CFE}}$ und $Q_{\text{mic-SIR}}$). Fehlerbalken stellen die Standardabweichung aus vier Einzelergebnissen dar.

Die zeitliche Entwicklung der Basalatmung (R_{B-Hein}) im Mineraloberboden der BDF31 ist in der Abbildung 4.68 dargestellt. Zu erkennen ist, dass diese in den Untersuchungsjahren 1998 und 2001 etwa die gleiche Höhe aufwies, dann jedoch bis zum Jahr 2010 auf den zweifachen Wert anstieg. Zum Jahr 2016 reduzierte sich die Basalatmung um nahezu die Hälfte. Der metabolische Quotient ($Q_{met-CFE}$) stieg im Zeitraum der Untersuchungsjahre 1998 bis 2010 beständig auf seinen bisherigen Höchstwert an. Zum Jahr 2013 ging der $Q_{met-CFE}$ jedoch stark zurück. Diese Abnahme setzte sich bis zum Jahr 2016 fort, in dem der metabolische Quotient seinen bisher niedrigsten Wert erreichte. Zum Jahr 2019 blieben sowohl die Basalatmung als auch der metabolische Quotient nahezu unverändert.

Die Gehalte des löslichen Stickstoffs (N_{min}) und die Argininammonifikation (ARG) sind in der Abbildung 4.69 dargestellt. Zu sehen ist, dass die Argininammonifikation zwischen den Untersuchungsjahren 1995 und 1998 zunächst anstieg und auf diesem Niveau bis zum Jahr 2001 verblieb. Zum Jahr 2005 reduzierte sich die Argininammonifikation um die Hälfte. Zum Jahr 2010 erfolgte ein Anstieg um etwa ein Viertel, welcher von einer Abnahme bis zum Jahr 2016 auf den niedrigsten Wert gefolgt wurde. Der Gehalt des löslichen Stickstoffs (N_{min}) zeigte im Jahr 1995 seinen bisherigen Höchststand. Zum Jahr 1998 reduzierte sich der N_{min} -Gehalt deutlich um etwa sieben Zehntel. Dieses Niveau wurde bis ins Jahr 2001 in etwa gehalten. Zum Jahr 2005 verdoppelte sich der Gehalt des löslichen Stickstoffs und sank anschließend zum folgenden Untersuchungsjahr 2010 auf einen Tiefstand. Zum Jahr 2013 erfolgte eine Verdoppelung des N_{min} -Gehaltes, zum Jahr 2016 zeigte sich jedoch ein erneuter Rückgang auf das Niveau des Jahres 2010. Während der N_{min} -Gehalt zum Jahr 2019 wieder anstieg, zeigte die Argininammonifikation nahezu keine Veränderung.

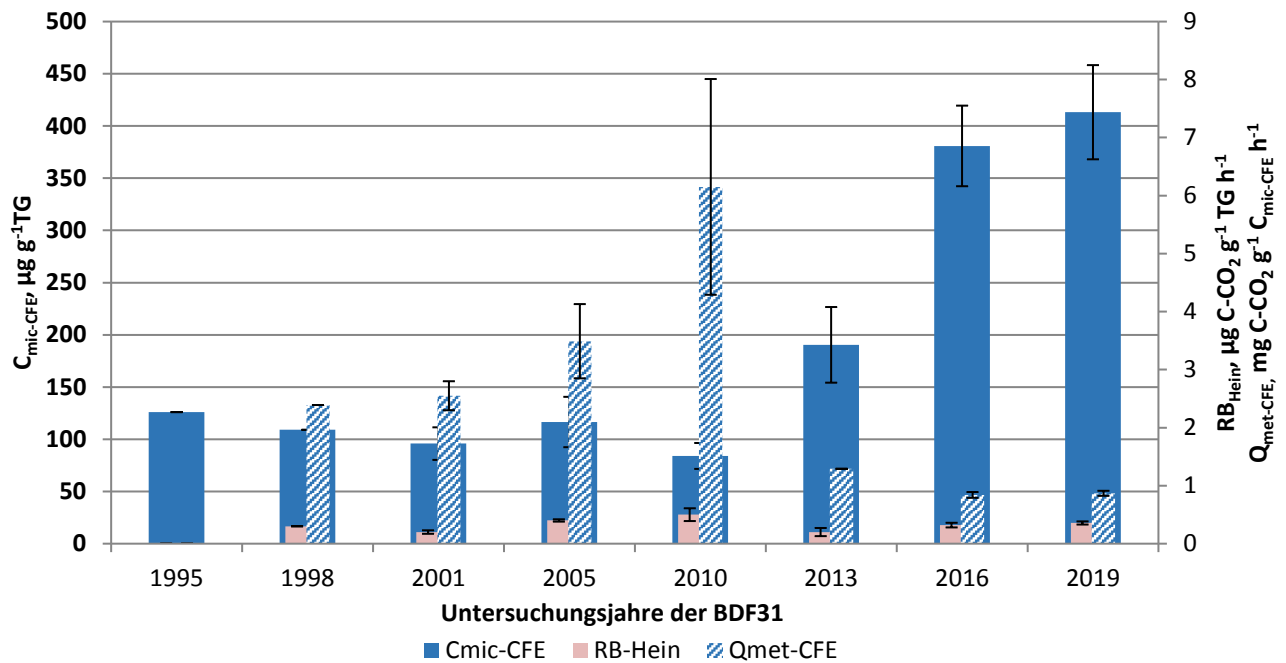


Abbildung 4.68: Ergebnisse der mikrobiellen Aktivität der BDF31 der gesamten Untersuchungsjahre, dargestellt anhand der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$), ihrer Basalatmung (R_{B-Hein}) und der mikrobiellen Aktivität ($Q_{met-CFE}$) bezogen auf das Trockengewicht.

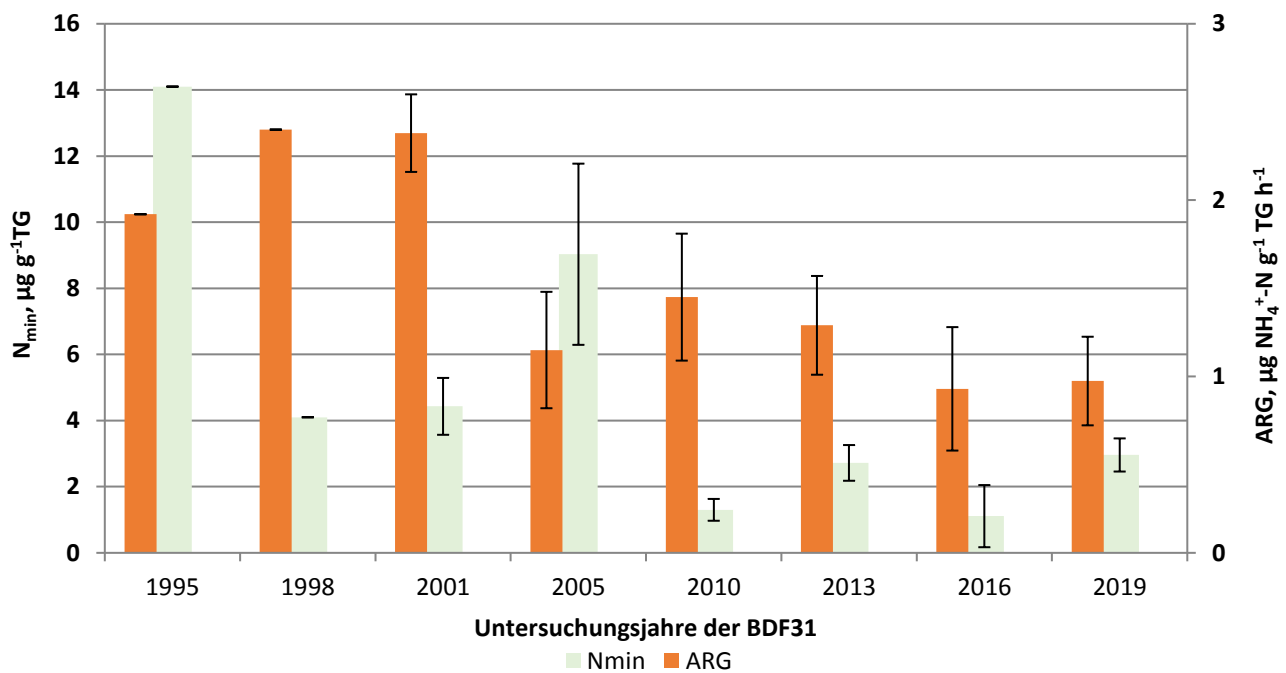


Abbildung 4.69: Darstellung des löslichen Stickstoffs (N_{min}) und der Argininammonifikation (ARG) der gesamten Untersuchungsjahre der BDF31.

Tabelle 4.60: Vergleich von mikrobiologischen und abiotischen Analyseergebnissen aus den acht Beprobungsjahren der BDF31. Angegeben ist jeweils der Mittelwert aus mindestens drei Parallelen und, wenn berechnet, die Standardabweichung dieses Wertes. Eine genauere Beschreibung der Tabelle ist im Anhang A 7.

Jahr	Boden- horizont Tiefe, cm	$C_{mic-CFE}$	$C_{mic-SIR}$ Hein	$N_{mic-CFE}$	R_B -Hein	ARG	$\frac{Q_{met-CFE}}{R_B-Hein / C_{mic-CFE}}$	$\frac{Q_{met-SIR}}{R_B-Hein / C_{mic-SIR}}$	N_{min}	C_{org}	N_t	C_{org} / N_t
		$\mu g\ g^{-1} TG$	$\mu g\ g^{-1} TG$	$\mu g\ g^{-1} TG$	$\mu g\ CO_2-C\ g^{-1} TG\ h^{-1}$	$\mu g\ NH_4^+-N\ g^{-1} TG\ h^{-1}$	$\mu g\ CO_2-C\ mg^{-1} C_{mic-CFE}\ h^{-1}$	$\mu g\ CO_2-C\ mg^{-1} C_{mic-SIR}\ h^{-1}$	$\mu g\ g^{-1} TG$	$cg\ g^{-1} TG$	$cg\ g^{-1} TG$	
1995	A	126	n.b.	18	n.b.	1,9	n.b.	n.b.	14,1	2,5	0,1	19,0
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
1998	A bis -30	109	126	6	0,3	2,4	2,4	2,1	4,1	1,8	0,1	22,3
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
2001	A bis -30	96	171	13	0,2	2,4	2,6	1,4	4,4	2,5	0,2	16,5
		± 16	± 36	± 2	$\pm 0,0$	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$	$\pm 0,2$	$\pm 0,9$	$\pm 0,2$	$\pm 0,0$	$\pm 0,8$
2005	A bis -30	117	129	18	0,4	1,2	3,5	3,1	9,0	2,3	0,1	17,6
		± 24	± 24	n.b.	$\pm 0,0$	$\pm 0,3$	$\pm 0,6$	$\pm 0,5$	$\pm 2,7$	$\pm 0,4$	$\pm 0,0$	$\pm 0,5$
2010	A bis -30	84	141	n.b.	0,5	1,5	6,2	3,6	1,3	2,3	0,1	15,8
		± 12	± 13	n.b.	$\pm 0,1$	$\pm 0,4$	$\pm 1,9$	$\pm 0,6$	$\pm 0,3$	$\pm 0,4$	$\pm 0,0$	$\pm 0,5$
2013	A bis -30	190	136	13	0,2	1,3	1,3	1,8	2,7	2,2	0,2	15,1
		± 36	± 47	± 3	$\pm 0,1$	$\pm 0,3$	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$	$\pm 0,5$	$\pm 0,3$	$\pm 0,0$	$\pm 0,5$
2016	A bis -30	381	195	18	0,3	0,9	0,8	1,8	1,1	2,1	0,2	13,5
		± 39	± 53	± 5	$\pm 0,0$	$\pm 0,4$	$\pm 0,1$	$\pm 0,4$	$\pm 0,9$	$\pm 0,3$	$\pm 0,0$	$\pm 0,6$
2019	A bis -30	413	123	< 5	0,4	1,0	0,9	2,9	3,0	2,1	0,1	15,6
		± 45	± 17	n.b.	$\pm 0,0$	$\pm 0,3$	$\pm 0,0$	$\pm 0,2$	$\pm 0,5$	$\pm 0,2$	$\pm 0,0$	$\pm 0,4$

Fortsetzung: Tabelle 4.60

Jahr	Boden- horizont	$C_{mic-CFE} /$ Fläche	$C_{mic-SIR} /$ Fläche	$N_{mic-CFE} /$ Fläche	$R_{B-Hein} /$ Fläche	ARG / Fläche	$Q_{mic-CFE} /$ C_{org}	$Q_{mic-SIR} /$ C_{org}	$N_{min} /$ Fläche	$C_{org} /$ Flä- che	$N_t /$ Fläche	pH
		$g\ m^{-2}$	$g\ m^{-2}$	$g\ m^{-2}$	$mg\ CO_2-C$ $m^{-2}\ h^{-1}$	$mg\ NH_4^+-$ $N\ m^{-2}\ h^{-1}$	%	%	$kg\ ha^{-1}$	$g\ m^{-2}$	$g\ m^{-2}$	
1995	A	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,5	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	5,0
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
1998	A bis -30	47,4	54,8	2,6	113,1	1044,0	0,6	0,7	17,8	7743	348	4,9
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
2001	A bis -30	37,7	67,2	5,0	95,5	933,4	0,4	0,7	17,4	9876	590	4,9
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	± 0,2
2005	A bis -30	43,0	47,6	6,5	145,8	424,4	0,5	0,6	33,3	8424	480	4,9
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	± 0,1	± 0,1	n.b.	n.b.	n.b.	± 0,3
2010	A bis -30	33,3	55,6	n.b.	200,0	573,8	0,4	0,6	5,1	8942	566	4,7
		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	± 0,0	± 0,1	n.b.	n.b.	n.b.	± 0,3
2013	A bis -30	74,8	53,5	5,0	96,3	506,3	0,9	0,6	10,7	8624	570	4,8
		± 16,4	± 18,5	± 1,2	± 30,9	± 108,9	± 0,1	± 0,1	± 2,5	± 1433	± 82	± 0,3
2016	A bis -30	170,4	87,3	8,1	144,3	417,1	1,8	0,9	5,0	9472	699	4,9
		± 17,3	± 23,5	± 2,1	± 17,9	± 156,6	± 0,1	± 0,2	± 4,2	± 1431	± 89	± 0,2
2019	A bis -30	173,5	51,8	< 2,1	149,7	409,2	2,0	0,6	12,4	8862	567	4,9
		± 18,9	± 7,3	n.b.	± 11,4	± 105,5	± 0,0	± 0,1	± 2,1	± 997	± 63	± 0,2

4.12.5 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zu abiotischen Standortfaktoren

Zwischen den abiotischen Standortfaktoren und der Bodenmikrobiologie zeigt sich eine signifikante Korrelation bei den Parametern Trockenrohdichte und mikrobieller Stickstoff ($N_{\text{mic-CFE}}$, $r = -0,997$, $p < 0,01$, $N = 4$). Die Zunahme der Trockenrohdichte ging mit einer Abnahme des mikrobiellen Stickstoffs einher.

4.12.6 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zum Klima und zur Witterung

Der Gehalt des mikrobiellen Stickstoffs ($N_{\text{mic-CFE}}$) korreliert zudem signifikant mit den Vorjahresniederschlägen ($r = 0,816$, $p < 0,05$, $N = 6$). Niederschlagsreichere Vorjahre hatten somit höhere Gehalte mikrobiellen Stickstoffs zur Folge. Weitere signifikante Korrelationen bestehen nicht, es ist jedoch möglich, dass die deutliche Zunahme der Vorjahrestemperatur und -niederschläge einen wesentlichen Anteil an der starken Zunahme der mikrobiellen Biomasse zwischen den Jahren 2013 und 2016 hatte.

4.12.7 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Bewirtschaftung

Die Bewirtschaftung der Baumschulfläche ist im Wesentlichen durch eine tiefe Bodenbearbeitung (> 20 cm), durch eine häufige, vorwiegend mineralische Düngung sowie durch regelmäßiges Aufbringen von Pflanzenschutzmitteln (Herbizid, Insektizid, Fungizid) gekennzeichnet. Eine Schädigung der Pflanzenschutzmittel auf die Bodenmikrobiologie zeichnet sich nicht ab, ist jedoch nicht auszuschließen. Die Versorgung des Bodens mit organischer Substanz ist ausreichend für einen mittleren Humusgehalt und liefert eine hohe Humusqualität, was für die Umsetzung durch Mikroorganismen förderlich ist.

Die Aufteilung der Fläche in ein Viertel Baumschulacker und drei Viertel Wiese spiegelt sich in den abiotischen und bodenmikrobiologischen Werten wider (räumliche Heterogenität zwischen den vier Probenahmestrecken, hier dargestellt ist jedoch nur der Mittelwert). Im Grünlandbereich traten höhere Organikgehalte sowie höhere pH-Werte auf als unter der Baumschulnutzung. Auch die C_{mic} - und N_{mic} -Gehalte waren in diesem Bereich deutlich höher. Die Düngung der Grünlandfläche mit Mist kann den Anstieg der mikrobiellen Biomasse seit 2010 unterstützt haben.

4.12.8 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Vegetationskunde

Neben den angepflanzten Laub- und Nadelgehölzen ist regelmäßig, die Unkrautgesellschaft *Stellarietea mediae* auf der Ackerfläche anzutreffen. Diese wird mittels mechanischer und chemischer Unkrautbekämpfungsmaßnahmen dezimiert. Stickstoffreiche Streu fällt nicht an. Das Deutsche Weidelgras auf der Wiese bevorzugt wie die Mikroorganismen stickstoffreiche Standorte.

4.12.9 Beziehungen der Bodenmikrobiologie zur Bodenzöologie

Die letzte bodenzöologische Untersuchung fand im Jahr 2018 statt. Im Vergleich mit den Voruntersuchungen des Jahres 2012 war eine leichte Zunahme der Regenwurmabundanzen und -biomassen sowie eine stärkere Zunahme der Kleinringelwurmabundanzen zu beobachten. Eine ähnliche Entwicklung zeigten auch die Gehalte der mikrobiellen Biomasse ($C_{\text{mic-CFE}}$) zwischen den Untersuchungsjahren 2013 und 2019. Die Gehalte der r-strategischen glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{\text{mic-SIR}}$) waren jedoch in diesen beiden Jahren nahezu gleich hoch.

4.13 Gruppierungen von BDF und vergleichende Diskussion

4.13.1 Vergleich der abiotischen Parameter der aktuellen Untersuchung

Aufgrund der unterschiedlichen Nutzungsformen müssen die untersuchten BDF zunächst in die Grünland- und Ackerstandorte sowie in die Forststandorte aufgeteilt werden. Die Unterschiede innerhalb der beiden Gruppen werden nachfolgend aufgeführt. Eine zusammenfassende Übersicht der abiotischen Parameter befindet sich in der Tabelle 4.61.

Grünland- und Ackerstandorte

Den höchsten Gehalt organischen Kohlenstoffs (C_{org}) bei den Grünlandstandorten wies im Jahr 2019 die BDF25 Kudensee/Landscheide auf, welche auf einem Niedermoorstandort gelegen ist. Von den BDF mineralischer Ausgangssubstrate besaß die extensiv beweidete Rohmarsch-BDF37 Hamburger Hallig den höchsten Humusanteil. Der niedrigste Humusgehalt wurde auf der in Wechselwirtschaft bewirtschafteten Grünland-BDF24 Bornhöved festgestellt. Bei der Humusqualität zeigte sich, dass abgesehen von der Baumschul-BDF31 Pinneberg alle Flächen hohe Humusqualitäten aufwiesen und die Spannbreite relativ gering war. Dennoch wiesen die Sukzessionsflächen der Marschen BDF21 Speicherkoog und 37 Hamburger Hallig sowie der Grünlandstandort der BDF24 Bornhöved die engsten C_{org}/N_t -Verhältnisse auf, während die BDF25 Kudensee/Landscheide, die Sukzessionsfläche BDF01 Sylt sowie der Acker-Baumschulenstandort BDF31 Pinneberg durch die weitesten C_{org}/N_t -Verhältnisse gekennzeichnet waren. Eine mittelhohe Humusqualität zeigten die Standorte BDF31 Pinneberg und die organische Auflage auf BDF01 Sylt.

Bei den Gehalten mineralischer Stickstoffverbindungen (N_{min}) zeigte die BDF33 Hellbachtal den Höchstwert, gefolgt von den BDF25 Kudensee/Landscheide und der Kalkmarsch BDF21 Speicherkoog. Die Dünen-BDF01 List/Sylt sowie die Acker-BDF31 Pinneberg besaßen dagegen die niedrigsten N_{min} -Gehalte. Zudem traten auch Unterschiede in der Zusammensetzung des löslichen Stickstoffs auf, bei der der Ammoniumanteil zwischen mehr als 98 % bei BDF33 Hellbachtal sowie BDF37 Hamburger Hallig und 50 % bei Kalkmarsch BDF21 Speicherkoog lag. Letztere zeigte zudem einen erhöhten Nitritanteil, welcher mehr als ein Zehntel des N_{min} -Gehaltes ausmachte. Auf der Acker-BDF31 Pinneberg setzte sich der niedrige N_{min} -Gehalt zu 60 % aus Nitrat zusammen.

Die pH-Werte der Grünland- und Ackerstandorte bewegten sich zwischen sehr stark sauer auf BDF01 List/Sylt und neutral auf Rohmarsch-BDF37 Hamburger Hallig sowie der Kalkmarsch-BDF21 Speicherkoog. Die Trockenrohdichten waren auf fünf der sechs Grünland-BDF sehr gering. Dabei wiesen die Niedermoor-BDF25 Kudensee/Landscheide und BDF33 Hellbachtal die geringsten Dichten auf, welche nur geringfügig niedriger waren als die Trockenrohdichte der Rohmarsch BDF37 Hamburger Hallig. Die Trockenrohdichte der BDF21 Speicherkoog der Kalkmarsch war fast doppelt so hoch, wie die Trockenrohdichte der Rohmarsch BDF37 Hamburger Hallig, wurde aber dennoch insgesamt als sehr gering eingestuft. Die höchste Trockenrohdichte wurde auf der sandigen Grünland-BDF24 Bornhöved gemessen, welche geringfügig höher war als auf der Acker-Baumschulen-BDF31 Pinneberg und auf dem Dünenstandort BDF01 Sylt.

Die abiotischen Parameter der Grünland- und Ackerstandorte zeigten untereinander signifikante Korrelationen (Tabelle 4.64). Dies gilt insbesondere für den C_{org} -Gehalt, den N_t -Gehalt, den N_{min} - und den Ammoniumgehalt, sowie für den Wassergehalt und die Trockenrohdichte. Standorte mit höheren C_{org} -Gehalten wiesen somit auch höhere Stickstoffgehalte auf. Die Trockenrohdichte zeigte als

einzigster Parameter ausschließlich negative Korrelationen mit den übrigen abiotischen Parametern. Standorte mit höheren Bodendichten wiesen weniger C_{org} und Stickstoff auf. Der pH korrelierte lediglich negativ mit dem C_{org}/N_t -Verhältnis. Böden mit höheren pH-Werten zeigten höhere Humusqualitäten.

Forststandorte

Bei den **Humusauflagen** der Waldstandorte zeigten sich deutliche Unterschiede der abiotischen Parameter zwischen den BDF. Die kohlenstoffreichste Waldhumusaufgabe besaß die Laubwald-BDF07 Pobüller Bauernholz, während der niedrigste C_{org} -Gehalt in der Auflage der BDF32 Hahnheide gefunden wurde. Dies sind ebenfalls die Standorte mit den höchsten und niedrigsten Gesamtstickstoffgehalten (N_t). Im Verhältnis beider Parameter resultiert die Auflage der Nadelwald BDF02 Süderlügum mit dem weitesten C_{org}/N_t -Verhältnis, während die engsten C_{org}/N_t -Verhältnisse in den Auflagen der Laubwald BDF20 Wüstenfelde, BDF32 Hahnheide und BDF39 Hevenbruch bestimmt wurden. Die Mineralstickstoffgehalte (N_{min}) variierten ebenfalls stark. Dabei zeigte die Auflage der BDF20 Wüstenfelde den mit Abstand höchsten N_{min} -Gehalt, während die Humusaufgabe der Nadelwald BDF02 Süderlügum durch den niedrigsten Mineralstickstoffgehalt gekennzeichnet war. Der Anteil der Ammoniumfraktion bewegte sich zwischen nahezu 100 % auf der Laubwald BDF07 Pobüller Bauernholz und etwa 80 % auf der BDF32 Hahnheide. Bei den Trockenrohdichten der Humusaufgaben zeigte die BDF20 Wüstenfelde den niedrigsten Wert, wobei die Unterschiede zwischen den Standorten sehr gering waren. Die Humusaufgabe mit der höchsten Dichte besaß die BDF32 Hahnheide. Die pH-Werte der Humusaufgaben waren im mäßig sauren Bereich bei der Laubwald BDF20 Wüstenfelde im sehr stark sauren Bereich bei der BDF39 Hevenbruch sowie im extrem sauren Bereich auf den übrigen BDF.

Der Vergleich aller Humusaufgaben zeigt, dass diese im Durchschnitt etwa neunmal höhere C_{org} -Gehalte, etwa achtmal höhere N_t -Gehalte, etwa gleich hohe C_{org}/N_t -Verhältnisse und etwa neunmal höhere N_{min} -Gehalte als die Mineralböden aufwiesen. Bei den biotischen Parametern war der $C_{mic-CFE}$ -Gehalt in der Humusaufgabe etwa achtmal höher, der $N_{mic-CFE}$ -Gehalt etwa elfmal höher, die Basalatmung etwa neunmal höher, die Argininammonifikation etwa fünfzehnmal höher, die mikrobiellen und metabolischen Quotient etwa gleich hoch wie im Mineralboden.

Die höchsten Gehalte organischen Kohlenstoffs (C_{org}) wiesen im **Mineraloberboden** die Laubwald-BDF20 Wüstenfelde und BDF39 Hevenbruch auf. Dagegen zeigte die Nadelwald-BDF02 Süderlügum den insgesamt niedrigsten C_{org} -Gehalt im Oberbodenhorizont. Von den Laubwaldstandorten besaß die BDF32 Hahnheide den niedrigsten Gehalt organischen Kohlenstoffs. Die Gesamtstickstoffgehalte (N_t) waren an den Waldstandorten im Durchschnitt eher gering, wobei die Nadelwald-BDF02 den niedrigsten und die Laubwald BDF20 Wüstenfelde den höchsten N_t -Gehalt aufwies. Die Humusqualität wurde an drei der fünf Waldstandorten durch mittlere C_{org}/N_t -Verhältnisse als mittel eingestuft. Dagegen besaßen die Laubwald BDF07 Pobüller Bauernholz mit dem weitesten C_{org}/N_t -Verhältnis eine sehr geringe und die BDF32 Hahnheide eine geringe Humusqualität. Auch bei dem Gehalt mineralischen Stickstoffs (N_{min}) zeigte die Laubwald BDF20 Wüstenfelde den Höchstwert, während die Nadelwald BDF02 Süderlügum den niedrigsten Gehalt und somit vermutlich geringste N-Verfügbarkeit aufwies. Bei der Zusammensetzung des Mineralstickstoffs dominierte Ammonium als Hauptfraktion mit annähernd 100 % auf Laubwald BDF07 Pobüller Bauernholz und etwa 60 % auf den BDF32 Hahnheide. Die Trockenrohdichten waren an den Waldstandorten sehr gering bis mittel hoch mit dem niedrigsten Wert auf der BDF39 Hevenbruch. Die

von allen Wäldern höchsten Trockenrohdichten zeigte die Standorte BDF07 Pobüller Bauernholz und BDF20 Wüstenfelde, wo diese als mittel hoch eingestuft wurden. Die pH-Werte der Waldstandorte waren insgesamt sehr niedrig und lagen im extrem sauren Bereich bzw. im stark sauren Bereich auf der Laubwald BDF20 Wüstenfelde.

Die abiotischen Parameter der Waldstandorte zeigten untereinander signifikante Korrelationen (Tabelle 4.65), und von der Anzahl deutlich mehr als die Grünland- und Ackerstandorte. Insbesondere der Tongehalt weist signifikante Korrelationen mit den drei Stickstofffraktionen N_t , N_{min} und Ammonium sowie mit den C_{org} - und Wassergehalten und mit dem pH-Wert auf. D.h. tonreichere Waldstandorte waren auch reicher an Organik, Mineralstickstoff sowie weniger sauer. Auch der pH-Wert korrelierte signifikant mit den Organikgehalten (C_{org} , N_t) und den Mineralstickstofffraktionen. Keine Korrelationen zeigte das C_{org}/N_t -Verhältnis sowie die Trockenrohdichte.

Tabelle 4.61: Zusammenfassende Darstellung der abiotischen Parameter die im Jahr 2019 auf den untersuchten BDF bestimmt wurden. Farbkodierungen siehe Anhang A 2, A 3, A 4 und A 5.

BDF	Nutzung	Tiefe ab GOK cm	Boden- art, Torfart, Hu- mus- form	C _{org} cg g ⁻¹ TG	N _t cg g ⁻¹ TG	C _{org} / N _t µg g ⁻¹ TG	N _{min} µg g ⁻¹ TG	NH ₄ ⁺ -N µg g ⁻¹ TG	NO ₂ -N µg g ⁻¹ TG	NO ₃ -N µg g ⁻¹ TG	Trocken- rohr- dichte g TG cm ⁻³	Wasser- gehalt mg g ⁻¹ TG	pH
1	Sukz., ext.	+2,6	HMO- MOA	3,4 ± 1,1	0,2 ± 0,1	17,1 ± 2,1	10,9 ± 5,3	10,4 ± 5,0	0,0 ± 0,0	0,5 ± 0,3	0,7 ± n.b.	178 ± 58	3,7 ± 0,6
1	Sukz., ext.	-5,0	mS	1,3 ± 0,2	0,1 ± 0,0	14,0 ± 1,1	2,9 ± 1,0	2,5 ± 0,9	0,0 ± 0,0	0,4 ± 0,2	1,4 ± n.b.	78 ± 7	3,6 ± 0,5
21	Sukz.	-2,5	Lu	4,5 ± 0,1	0,4 ± 0,0	10,9 ± 0,1	38,9 ± 8,0	21,6 ± 12,0	3,8 ± 0,9	13,4 ± 6,8	1,0 ± n.b.	608 ± 31	6,7 ± 0,1
21	Sukz.	-10	Lu	3,2 ± 0,2	0,3 ± 0,0	9,9 ± 0,2	22,9 ± 5,9	12,6 ± 7,3	2,8 ± 0,9	7,6 ± 4,1	1,0 ± n.b.	466 ± 17	6,9 ± 0,1
25	Grünl., ext.	-10	Hn (T)	20,5 ± 2,7	1,5 ± 0,2	13,6 ± 0,4	32,1 ± 5,4	21,6 ± 4,5	0,3 ± 0,4	10,2 ± 3,6	0,5 ± n.b.	1230 ± 143	4,7 ± 0,2
33	Grünl., ext.	-10	Hn (SI2)	12,1 ± 0,8	1,1 ± 0,1	11,3 ± 0,3	41,8 ± 10,1	41,5 ± 10,2	0,0 ± 0,0	0,3 ± 0,3	0,4 ± n.b.	1373 ± 132	5,5 ± 0,1
37	Sukz., ext.	-10	Tu3	5,0 ± 0,3	0,5 ± 0,0	11,0 ± 0,2	18,8 ± 1,3	18,5 ± 1,4	0,0 ± 0,0	0,4 ± 0,1	0,5 ± n.b.	1388 ± 100	7,1 ± 0,1
2	Nadelwald	+8,7	MRA- MRR	34,8 ± 3,2	1,4 ± 0,1	25,7 ± 0,6	16,2 ± 1,8	15,3 ± 1,5	0,0 ± 0,0	0,8 ± 0,3	0,2 ± n.b.	1211 ± 96	2,5 ± 0,0
2	Nadelwald	-2,5	mSfs	1,1 ± 0,1	0,1 ± 0,0	19,2 ± 0,5	1,0 ± 0,1	0,9 ± 0,1	0,0 ± 0,0	0,1 ± 0,0	1,3 ± n.b.	78 ± 3	2,8 ± 0,0
7	Laubwald	+17	ROF	48,4 ± 3,0	2,3 ± 0,2	20,9 ± 0,5	28,0 ± 6,6	27,8 ± 6,4	0,0 ± 0,0	0,2 ± 0,2	0,2 ± n.b.	3139 ± 626	2,9 ± 0,1
7	Laubwald	+11,1	ROF	35,2 ± 10,7	1,5 ± 0,4	24,1 ± 0,8	8,4 ± 2,6	8,3 ± 2,6	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,1	0,3 ± n.b.	1903 ± 505	2,9 ± 0,0
7	Laubwald	-3,0	SI2-Su2	4,0 ± 0,5	0,1 ± 0,0	35,3 ± 7,1	1,2 ± 0,1	1,2 ± 0,1	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,1	1,4 ± n.b.	350 ± 37	3,1 ± 0,0
20	Laubwald	+2,4	MUO- MOM	35,4 ± 4,3	1,7 ± 0,2	21,1 ± 0,8	144,1 ± 52,4	136,1 ± 47,2	0,4 ± 0,2	7,6 ± 5,5	0,2 ± n.b.	2519 ± 150	4,9 ± 0,3
20	Laubwald	-2,5	SI4-Ls3	7,1 ± 1,4	0,1 ± 0,0	15,2 ± 0,8	15,8 ± 1,1	13,0 ± 1,0	0,0 ± 0,0	2,8 ± 0,7	1,4 ± n.b.	546 ± 108	4,4 ± 0,4
32	Laubwald	+5,3	MRR- MRA	19,7 ± 3,4	1,0 ± 0,1	19,6 ± 0,8	22,3 ± 1,8	18,5 ± 3,5	0,0 ± 0,0	3,8 ± 1,9	0,3 ± n.b.	985 ± 77	3,0 ± 0,0
32	Laubwald	-2,5	SI2	3,3 ± 0,4	0,2 ± 0,0	20,7 ± 0,9	3,1 ± 0,6	1,9 ± 0,5	0,0 ± 0,0	1,2 ± 0,3	1,3 ± n.b.	246 ± 12	3,1 ± 0,1
39	Laubwald	+3,8	MOA	26,1 ± 2,3	1,3 ± 0,1	19,4 ± 0,3	37,1 ± 5,8	33,9 ± 5,3	0,0 ± 0,0	3,2 ± 1,8	0,2 ± n.b.	1215 ± 211	3,3 ± 0,2
39	Laubwald	-2,6	SI3	4,9 ± 0,2	0,3 ± 0,0	16,4 ± 0,5	4,7 ± 1,0	4,0 ± 0,9	0,0 ± 0,0	0,7 ± 0,4	1,2 ± n.b.	349 ± 39	3,2 ± 0,1
24	Grünl., Ww.	-10	Su2	1,1 ± 0,0	0,1 ± 0,0	11,7 ± 0,6	5,1 ± 0,3	4,4 ± 0,4	0,0 ± 0,0	0,6 ± 0,0	1,5 ± n.b.	115 ± 3	5,7 ± 0,1
31	Acker, Baum.	-30	SI2-Su2	2,1 ± 0,2	0,1 ± 0,0	15,6 ± 0,4	3,0 ± 0,5	1,2 ± 0,4	0,0 ± 0,0	1,8 ± 0,3	1,4 ± n.b.	143 ± 14	4,9 ± 0,2

Sukz.: Sukzession, Grünl.: Grünland, ext.: extensiv, Ww.: Wechselwirtschaft, Baum.: Baumschule

4.13.2 Vergleich der biotischen Parameter in der aktuellen Untersuchung und Beziehung zu den abiotischen Parametern

Wie bei den abiotischen Parametern erfolgt die Beschreibung der bodenmikrobiologischen Parameter auch getrennt für die Grünland- und Ackerstandorte sowie für die Forststandorte. Die zusammenfassende Übersicht der bodenmikrobiologischen Parameter befindet sich in der Tabelle 4.62.

Grünland- und Ackerstandorte

Den höchsten Gehalt der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$) besaß bei der aktuellen Untersuchung die BDF25 Landscheide, gefolgt von der BDF33 Hellbachtal, beides BDF mit hoher Feuchtestufe (< 8 , Abbildung 3.1) und der zoologischen Bodenlebensgemeinschaftstypen mittel feuchter bis nasser Standorte sowie hohen Organikgehalten ($> 12\%$). Bei den BDF mineralischer Substrate wiesen die Marschenstandorte der Rohmarch, die BDF37 Hamburger Hallig, den Höchstwert auf, gefolgt von der Kalkmarsch BDF21 Speicherkoog. Den geringsten mikrobiellen Biomassegehalt zeigte die Baumschul-BDF31 Pinneberg. Bei der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-SIR}$) wurden die höchsten Gehalte ebenfalls auf den BDF25 Landscheide gefolgt von der BDF37 Hamburger Hallig gemessen. Den niedrigsten $C_{mic-SIR}$ -Gehalt zeigte von den Grünlandstandorten die BDF24 Bornhöved. Die Baumschul-BDF31 Pinneberg besaß einen halb so hohen $C_{mic-SIR}$ -Gehalt wie die BDF24 Bornhöved. Der Gehalt des mikrobiellen Stickstoffs ($N_{mic-CFE}$) verhielt sich auf den BDF analog zum $C_{mic-SIR}$ -Gehalt.

Die biotischen Parameter mikrobielle Biomasse ($C_{mic-CFE}$, $C_{mic-SIR}$, $N_{mic-CFE}$) und mikrobielle Aktivität (R_{B-Hein} , ARG) stehen in signifikanter positiver Beziehung zu den abiotischen Parametern C_{org} -Gehalt, N_t -Gehalt, Ammoniumgehalt, Wassergehalt und Tongehalt sowie in signifikanter negativer Beziehung zur Trockenrohdichte. D.h. an Standorten mit höheren C_{org} -, N_t -, Ammonium-, Wasser- und Tongehalten waren auch die Gehalte der mikrobiellen Biomassen sowie deren Respirations- und Ammonifikationsaktivitäten höher, während an Standorten mit höheren Trockenrohdichten die mikrobiellen Biomassen sowie deren Respirations- und Ammonifikationsaktivitäten geringer waren. Standorte mit höherer Humusqualität hatten zudem höhere Anteile der mikrobiellen Biomasse am C_{org} -Gehalt, was dem Parameter mikrobieller Quotient entspricht.

Die mikrobielle Basalatmung (R_{B-Hein}) war, im Gegensatz zur mikrobiellen Biomasse, am höchsten auf den BDF37 Hamburger Hallig und 25 Landscheide. Die geringsten Respirationsraten zeigte hingegen die Dünen-BDF01 List/Sylt, zusammen mit der BDF24 Bornhöved und der Baumschule BDF31 Pinneberg. Die Ammonifikationsaktivität (ARG) wies die höchsten Werte, ähnlich der mikrobiellen Biomassen, an den Niedermoorstandorten BDF25 Landscheide und 33 Hellbachtal auf. Von den BDF mineralischer Ausgangssubstrate zeigten die BDF37 Hamburger Hallig und 21 Speicherkoog die höchsten Ammonifikationsraten und somit bei gleichzeitig engem C/N-Verhältnis von 10-11 eine hohe N-Verfügbarkeit. Die Ammonifikationsaktivität der übrigen drei Standorte war sehr gering, wobei die Dünen-BDF01 List/Sylt und die BDF31 Pinneberg die insgesamt niedrigsten Werte aufwiesen.

Bei den mikrobiellen Quotienten ($Q_{mic-CFE}$) zeigten alle BDF hohe bis überwiegend sehr hohe Werte. Der höchste $Q_{mic-CFE}$ wurde bei der Niedermoor-BDF33 Hellbachtal bestimmt, gefolgt von den Marschen BDF37 Hamburger Hallig und BDF01 Sylt. Niedrigere mikrobielle Quotienten wurden dagegen auf der organikreichen BDF25 Landscheide und der Baumschul-BDF31 Pinneberg bestimmt. Die mikrobiellen Quotienten der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{mic-SIR}$) zeigten die höchsten Werte an den Marschen-Standorten BDF21 Speicherkoog und BDF37 Hamburger Hallig, während

die niedrigsten Werte an den Standorten BDF31 Pinneberg und BDF33 Hellbachtal gemessen wurden. Die metabolischen Quotienten ($Q_{\text{met-CFE}}$) waren überwiegend niedrig bis sehr niedrig mit den niedrigsten Werten auf der Niedermoor-BDF25 Landscheide. Den höchsten metabolischen Quotienten wies die BDF37 Hamburger Hallig auf und kennzeichnete damit die niedrigste mikrobielle Effizienz. Dies gilt ebenso für den metabolischen Quotienten der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{\text{met-SIR}}$), wobei die $Q_{\text{met-SIR}}$ insgesamt höher waren als die $Q_{\text{met-CFE}}$. Aus den metabolischen Quotienten geht hervor, dass die Effizienz der Mikroorganismen an den sandigen Standorten (BDF01 Sylt, BDF24 Bornhöved, BDF31 Pinneberg) höher war als an den Grünlandstandorten mit bindigen Böden. Insgesamt war die in einer Salzwiese gelegene BDF37 Hamburger Hallig durch die niedrigste mikrobielle Effizienz gekennzeichnet.

Die bodenmikrobiologischen Parameter der Grünland- und Ackerstandorte zeigten untereinander signifikante Korrelationen (Tabelle 4.64). Insbesondere die mikrobiellen Biomassen ($C_{\text{mic-CFE}}$, $C_{\text{mic-SIR}}$, $N_{\text{mic-CFE}}$) sowie die Aktivitätsparameter ($R_{\text{B-Hein}}$, ARG) korrelierten miteinander positiv. D.h. je höher die Biomassegehalte waren, desto höher waren die Aktivitäten. Die Quotienten (Q_{mic} und Q_{met}) zeigten dagegen weniger Korrelationen untereinander. Für die erstgenannten Parameter bestehen zudem positive Korrelationen mit den abiotischen Parametern C_{org} , N_t , N_{min} , Ammonium, Ton- und Wassergehalt sowie negative Korrelationen mit der Trockenrohdichte. D.h. Standorte mit geringeren Trockenrohdichten und höheren Kohlenstoff-, Stickstoff- und Tongehalten zeigten höhere mikrobielle Biomassegehalte und Aktivitäten. Unerwarteterweise waren Standorte mit niedrigeren pH-Werten nicht signifikant weniger mikrobiologisch aktiv.

Forststandorte

Bei den **Humusaufgaben** der Waldstandorte zeigte der Gehalt der mikrobiellen Biomasse ($C_{\text{mic-CFE}}$) den Höchstwert im Of-Horizont der Humusaufgabe der Laubwald BDF07 Pobüller Bauernholz, gefolgt von der Auflage (Of&Oh) der BDF20 Wüstenfelde. Den niedrigsten $C_{\text{mic-CFE}}$ -Gehalt zeigte dagegen die Humusaufgabe der Laubwald BDF32 Hahnheide. Bei dem Gehalt des mikrobiellen Stickstoffs ($N_{\text{mic-CFE}}$) zeigte die Auflage der BDF20 Wüstenfelde den höchsten Wert, während der niedrigste $N_{\text{mic-CFE}}$ -Gehalt in der Humusaufgabe der Nadelwald-BDF02 Süderlügum bestimmt wurde. Ebenso wie die mikrobielle Biomasse, war auch der Wert für die mikrobiellen Basalatmung ($R_{\text{B-Hein}}$) bei der BDF20 Wüstenfelde am höchsten. Die BDF32 Hahnheide mit der niedrigsten Biomasse zeigt ebenso die niedrigste Basalatmung. Die Ammonifikationsaktivität (ARG) war in den Humusaufgaben der BDF20 Wüstenfelde am höchsten, die Auflage der BDF02 Süderlügum zeigte den niedrigsten Wert.

Die mikrobiellen Quotienten ($Q_{\text{mic-CFE}}$) und somit den Anteil der mikrobiellen Biomasse an der Organik zeigten in den Waldhumusaufgaben Höchstwerte bei der BDF20 Wüstenfelde. Dagegen war die BDF39 Hevenbruch durch den niedrigsten $Q_{\text{mic-CFE}}$ gekennzeichnet. Die niedrigsten metabolischen Quotienten ($Q_{\text{met-CFE}}$) wurden in den Humusaufgaben der BDF02 Süderlügum, BDF07 Pobüller Bauernholz und BDF32 Hahnheide bestimmt. Diese wiesen somit die höchsten mikrobiellen Effizienzen auf. Die niedrigste mikrobielle Effizienz wurde mit dem höchsten $Q_{\text{met-CFE}}$ an dem Standort der BDF20 Wüstenfelde bestimmt.

Bei der Betrachtung der organischen Auflagen und der Mineraloberböden (Tabelle 4.63) zeigte sich, dass die Forststandorte durch sehr unterschiedliche Humus/Mineralboden-Verhältnisse gekennzeichnet waren, was auf unterschiedlich starke Prozesse der vertikalen Stoffverlagerung hindeutet. Bei den abiotischen Parametern wies die Nadelwald BDF02 Süderlügum die weitesten Verhältnisse auf, was insbesondere bei den Kohlenstoff- und Gesamtstickstoffgehalten zu erkennen war. Auch die

BDF07 Pobüller Bauernholz zeigte besonders bei den N_{\min} -Gehalten sehr weite Humus/Mineralboden-Verhältnisse. Die engsten Verhältnisse bei den abiotischen Parametern zeigte hingegen die Standorte BDF20 Wüstenfelde, BDF32 Hahnheide und BDF39 Hevenbruch, was eventuell mit höherer Durchmischung an diesem Standort zusammenhängt.

Bei den bodenmikrobiologischen Parametern zeigen die BDF02 Süderlügum, BDF07 Pobüller Bauernholz, BDF20 Wüstenfelde sowie die BDF39 Hevenbruch ähnlich weite Humus/Mineralboden-Verhältnisse zwischen 10 und 13, was sich bei der BDF02 Süderlügum anhand der Biomassegehalte ($C_{\text{mic-CFE}}$, $N_{\text{mic-CFE}}$) und der Basalatmung und auf der BDF07 Pobüller Bauernholz durch die Argininammonifikation sowie $N_{\text{mic-CFE}}$ -Gehalte bemerkbar machte. Die BDF39 Hevenbruch war bei den Gehalten der mikrobiellen Biomasse ($C_{\text{mic-CFE}}$ und $N_{\text{mic-CFE}}$) durch die engsten Verhältnisse gekennzeichnet, wies jedoch bei der Argininammonifikation das höchste Humus/Mineralboden-Verhältnis auf. Daraus ergibt sich, dass der mikrobielle Stofftransport zwischen Humusaufgabe und Mineralboden auf BDF32 Hahnheide im Mittel am höchsten und auf BDF07 Pobüller Bauernholz im Mittel am niedrigsten ist.

Die Gehalte der mikrobiellen Biomasse ($C_{\text{mic-CFE}}$) waren im **Mineraloberboden** hoch bis sehr hoch an allen vier Laubwald-Standorten (BDF07 Pobüller Bauernholz, BDF20 Wüstenfelde, BDF32 Hahnheide, BDF39 Hevenbruch). Dabei zeigte die BDF20 Wüstenfelde den höchsten Gehalt, während die BDF32 Hahnheide durch den niedrigsten mikrobiellen Biomassengehalt der Laubwälder gekennzeichnet war. Die Nadelwald-BDF02 Süderlügum wies dagegen den niedrigsten $C_{\text{mic-CFE}}$ -Gehalt aller im Jahr 2019 untersuchten BDF auf. Dies zeigte sich in gleicher Weise bei dem Gehalt des mikrobiellen Stickstoffs ($N_{\text{mic-CFE}}$). Die glucoseaktivierte mikrobielle Biomasse ($C_{\text{mic-SIR}}$) wurde an den Forststandorten nicht bestimmt.

Die mikrobielle Basalatmung ($R_{\text{B-Hein}}$) war auf der BDF20 Wüstenfelde ebenso wie die mikrobielle Biomasse am höchsten, gefolgt von der BDF39 Hevenbruch. Die niedrigsten Respirationsraten der Laubwald-Standorte (BDF07 Pobüller Bauernholz, BDF20 Wüstenfelde, BDF32 Hahnheide, BDF39 Hevenbruch) wies, wie auch bei der mikrobiellen Biomasse, die BDF32 Hahnheide auf. Die Nadelwald-BDF02 Süderlügum zeigte auch bei der Basalatmung einen der niedrigsten Werte aller BDF des Untersuchungsjahres 2019. Neben der Atmungsaktivität wurde ebenso für die Argininammonifikation (ARG) ein hoher Wert auf der BDF20 Wüstenfelde bestimmt, wobei der Höchstwert auf die BDF32 Hahnheide entfiel. Die niedrigste Ammonifikationsaktivität zeigte sich hingegen auf den Standorten BDF07 Pobüller Bauernholz und BDF02 Süderlügum.

Die mikrobiellen Quotienten ($Q_{\text{mic-CFE}}$) waren an allen Laubwald-Standorten hoch. Den insgesamt höchsten (sehr hohen) $Q_{\text{mic-CFE}}$ wies dabei die Nadelwald-BDF02 Süderlügum auf, während die BDF20 Wüstenfelde durch den höchsten $Q_{\text{mic-CFE}}$ der Laubwälder gekennzeichnet war. Der niedrigste mikrobielle Quotient entfiel auf die BDF39 Hevenbruch. Dieses ist anders als in der Humusaufgabe, bei der die höchsten mikrobiellen Quotienten auf der BDF 20 Wüstenfelde aufgetreten ist. Der $Q_{\text{mic-CFE}}$ der Nadelwald-BDF lag deutlich über dem Durchschnitt der Waldflächen. Die metabolischen Quotienten ($Q_{\text{met-CFE}}$) der Waldstandorte waren niedrig bis sehr niedrig. Dabei zeigten sich die niedrigsten Werte auf den BDF07 Pobüller Bauernholz, BDF32 Hahnheide und BDF39 Hevenbruch. Den höchsten $Q_{\text{met-CFE}}$ wies trotz des höchsten Biomassegehalts die BDF20 Wüstenfelde auf. Für die mikrobielle Effizienz bedeutet dies, dass diese an den Standorten der BDF07 Pobüller Bauernholz, BDF32 Hahnheide und BDF39 Hevenbruch höher war als auf den übrigen Flächen.

Die bodenmikrobiologischen Parameter der Wald-Standorte zeigten untereinander signifikante Korrelationen (Tabelle 4.65). Diese bestehen zwischen den Parametern der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$ und $N_{mic-CFE}$) und der Basalatmung (R_{B-Hein}). Standorte mit hohen mikrobiellen Biomassen wiesen somit auch hohe Basalatmungsraten auf. Die Parameter $C_{mic-CFE}$, $N_{mic-CFE}$ und R_{B-Hein} korrelierten zudem positiv mit den abiotischen Parametern Tongehalt, C_{org} -Gehalt, N_t , N_{min} , Ammonium und pH positiv. Daraus geht hervor, dass weniger saure Waldböden mit höheren Ton- und Organikgehalten durch höhere mikrobielle Biomassegehalte und Basalatmungsraten gekennzeichnet waren. Die Trockenrohdichte zeigte keinen signifikanten Einfluss auf die Mikrobiologie der Waldböden.

Gesamt

Insgesamt zeigte sich, dass die Stickstoffparameter N_t , N_{min} - und Ammoniumgehalt sowohl an allen Standorten unterschiedlicher Nutzung, also an den Grünland- und Ackerstandorten als auch an den Waldstandorten positive Beziehungen zu der Bodenmikrobiologie aufwiesen. Einige Korrelationen gab es jedoch nur innerhalb der Nutzungsklassen. Der Tongehalt beeinflusste überwiegend an den Waldstandorten neben der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$, $N_{mic-CFE}$) auch die Basalatmung positiv, während an den Grünland- und Ackerstandorten der $C_{mic-SIR}$ -Gehalt und die Argininammonifikation positiv beeinflusst wurden. Dagegen zeigte der C_{org} -Gehalt an den Waldstandorten lediglich einen Zusammenhang mit den $C_{mic-CFE}$ -gehalten, während an den Grünland- und Ackerstandorten zusätzlich die $C_{mic-SIR}$ - und $N_{mic-CFE}$ -Gehalte mit der Organik korrelierten. Die Abundanzen und Aktivitäten der Bodenmikrobiologie wurde an den Grünland- und Ackerstandorten maßgeblich durch die Trockenrohdichten und Wassergehalte bestimmt, während diese in den Wald-BDF eher vom Boden-pH beeinflusst wurden. Dabei wurde ersichtlich, dass zwar eine signifikante positive Abhängigkeit zwischen dem pH und der mikrobiellen Aktivität (Biomasse und Basalatmung) gegeben ist, jedoch auch extrem saure Böden mikrobiologisch hoch aktiv sein können. Die Bedeutung der Humusqualität (C_{org}/N_t) für die Bodenmikroorganismen war von untergeordneter Rolle und zeigte keine signifikanten Korrelationen.

Tabelle 4.62: Zusammenfassende Darstellung der mikrobiologischen Parameter die im Jahr 2019 auf den untersuchten BDF bestimmt wurden. Farbkodierungen siehe Anhang A 6.

BDF	Nutzung	Tiefe ab GOK cm	Boden- art, Torfart, Hu- mus- form	C _{mic} -CFE µg g ⁻¹ TG	C _{mic} -SIR µg g ⁻¹ TG	N _{mic} -CFE µg g ⁻¹ TG	R _B -Hein µg CO ₂ - C g ⁻¹ TG h ⁻¹	ARG µg NH ₄ ⁺ -N g ⁻¹ TG h ⁻¹	Q _{mic} -CFE C _{mic} -CFE / C _{org} %	Q _{mic} -SIR C _{mic} -SIR / C _{org} %	Q _{met} -CFE R _B -Hein / C _{mic} -CFE µg CO ₂ -C mg ⁻¹ C _{mic} - CFE h ⁻¹	Q _{met} -SIR R _B -Hein / C _{mic} -SIR µg CO ₂ -C mg ⁻¹ C _{mic} - SIR h ⁻¹
1	Sukz., ext.	+2,6	HMO- MOA	1396 ± 521	n.b. ± n.b.	76 ± 14	1,4 ± 0,2	1,1 ± 0,9	4,1 ± 0,9	n.b. ± n.b.	1,1 ± 0,2	n.b. ± n.b.
1	Sukz., ext.	-5,0	mS	585 ± 34	n.b. ± n.b.	26 ± 2	0,4 ± 0,0	1,0 ± 0,2	4,7 ± 0,6	n.b. ± n.b.	0,7 ± 0,0	n.b. ± n.b.
21	Sukz.	-2,5	Lu	1632 ± 70	928 ± 79	162 ± 11	2,4 ± 0,5	5,4 ± 1,1	3,6 ± 0,1	2,1 ± 0,2	1,5 ± 0,3	2,7 ± 0,6
21	Sukz.	-10	Lu	1325 ± 118	1018 ± 115	131 ± 12	1,6 ± 0,4	4,2 ± 0,4	4,2 ± 0,2	3,2 ± 0,2	1,2 ± 0,2	1,6 ± 0,2
25	Grünl., ext.	-10	Hn (T)	6322 ± 302	2135 ± 252	418 ± 24	3,5 ± 0,4	9,4 ± 1,3	3,1 ± 0,3	1,1 ± 0,2	0,5 ± 0,1	1,6 ± 0,2
33	Grünl., ext.	-10	Hn (SI2)	6298 ± 629	828 ± 283	486 ± 49	3,8 ± 0,2	7,6 ± 1,5	5,2 ± 0,5	0,7 ± 0,2	0,6 ± 0,0	5,4 ± 2,0
37	Sukz., ext.	-10	Tu3	2388 ± 256	1296 ± 100	290 ± 40	7,7 ± 1,1	11,5 ± 2,8	4,9 ± 0,8	2,6 ± 0,2	3,3 ± 0,5	6,0 ± 1,1
2	Nadelwald	+8,7	MRA- MRR	9395 ± 933	n.b. ± n.b.	105 ± 27	5,2 ± 0,6	< 0,1 ± n.b.	2,7 ± 0,2	n.b. ± n.b.	0,6 ± 0,0	n.b. ± n.b.
2	Nadelwald	-2,5	mSfs	438 ± 33	n.b. ± n.b.	< 5 ± n.b.	0,4 ± 0,0	0,4 ± 0,1	4,2 ± 0,2	n.b. ± n.b.	0,9 ± 0,0	n.b. ± n.b.
7	Laubwald	+17	ROF	12965 ± 680	n.b. ± n.b.	279 ± 34	10,1 ± 1,3	7,2 ± 4,6	2,7 ± 0,1	n.b. ± n.b.	0,8 ± 0,1	n.b. ± n.b.
7	Laubwald	+11,1	ROF	6339 ± 1733	n.b. ± n.b.	125 ± 34	3,0 ± 0,4	7,6 ± 1,3	2,0 ± 0,7	n.b. ± n.b.	0,5 ± 0,1	n.b. ± n.b.
7	Laubwald	-3,0	SI2-Su2	891 ± 32	n.b. ± n.b.	6 ± 3	0,5 ± 0,3	0,4 ± 0,3	2,3 ± 0,3	n.b. ± n.b.	0,6 ± 0,3	n.b. ± n.b.
20	Laubwald	+2,4	MUO- MOM	11972 ± 279	n.b. ± n.b.	778 ± 262	27,1 ± 5,2	37,3 ± 6,9	3,4 ± 0,4	n.b. ± n.b.	2,3 ± 0,4	n.b. ± n.b.
20	Laubwald	-2,5	SI4-Ls3	1768 ± 201	n.b. ± n.b.	120 ± 13	1,6 ± 0,3	1,3 ± 0,4	2,6 ± 0,3	n.b. ± n.b.	0,9 ± 0,1	n.b. ± n.b.
32	Laubwald	+5,3	MRR- MRA	4512 ± 293	n.b. ± n.b.	169 ± 20	2,1 ± 0,3	27,5 ± 2,7	2,3 ± 0,2	n.b. ± n.b.	0,5 ± 0,1	n.b. ± n.b.
32	Laubwald	-2,5	SI2	798 ± 78	n.b. ± n.b.	25 ± 3	0,4 ± 0,0	1,9 ± 0,1	2,4 ± 0,3	n.b. ± n.b.	0,5 ± 0,0	n.b. ± n.b.
39	Laubwald	+3,8	MOA	4816 ± 765	n.b. ± n.b.	217 ± 46	5,2 ± 1,1	29,0 ± 7,8	1,9 ± 0,3	n.b. ± n.b.	1,1 ± 0,1	n.b. ± n.b.
39	Laubwald	-2,6	SI3	1054 ± 105	n.b. ± n.b.	38 ± 7	0,6 ± 0,1	0,8 ± 0,4	2,2 ± 0,1	n.b. ± n.b.	0,6 ± 0,1	n.b. ± n.b.
24	Grünl., Ww.	-10	Su2	445 ± 26	262 ± 10	29 ± 2	0,5 ± 0,0	1,3 ± 0,3	3,9 ± 0,3	2,3 ± 0,1	1,0 ± 0,1	1,8 ± 0,1
31	Acker, Baum.	-30	SI2-Su2	413 ± 45	123 ± 17	< 5 ± 0	0,4 ± 0,0	1,0 ± 0,3	2,0 ± 0,0	0,6 ± 0,1	0,9 ± 0,0	2,9 ± 0,2

Sukz.: Sukzession, Grünl.: Grünland, ext.: extensiv, Ww.: Wechselwirtschaft, Baum.: Baumschule

Tabelle 4.63: Verhältnisse der abiotischen (oben) und bodenmikrobiologischen (unten) Parameter zwischen den Messwerten der organischen Auflagen und den Messwerten der Mineraloberböden. Dargestellt sind ausgewählte BDF, die eine Humusaufgabe aufweisen: Sukzessionsstandorte (BDF01 List/Sylt, 21 Speicherkoog) und fünf Waldstandorte: Nadelwald (BDF02 Süderlügum) und Laubwälder (BDF07 Pobüller Bauernholz, 20 Wüstenfelde, 32 Hahnheide, 39 Hevenbruch). Für die Waldstandorte wurde eine Farbskala angewendet (rot: weites Verhältnis über dem Mittel, grün: enges Verhältnis).

BDF	C _{org}	N _t	C _{org} / N _t	N _{min}	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Mittel
01	2,7	2,2	1,2	3,8	4,1	1,4	2,6
21	1,4	1,3	1,1	1,7	1,7	1,8	1,5
02	33,0	24,6	1,3	16,2	17,3	7,6	16,7
07	10,5	16,4	0,6	14,8	15,2	2,8	10,1
20	5,0	3,7	1,4	9,1	10,5	2,7	5,4
32	5,9	6,3	0,9	7,2	9,7	3,1	5,5
39	5,3	4,5	1,2	7,9	8,5	4,3	5,3
Mittel	9,1	8,4	1,1	8,7	9,6	3,4	6,7

BDF	C _{mic} -CFE	N _{mic} -CFE	R _B -Hein	ARG	Q _{mic} -CFE	Q _{met} -CFE	Mittel
01	2,4	3,0	3,4	1,1	0,9	1,6	2,1
21	1,2	1,2	1,5	1,3	0,9	1,2	1,2
02	21,4	21,0	13,9	0,3	0,6	0,6	9,6
07	10,8	33,0	12,2	19,5	1,0	1,1	12,9
20	6,8	6,5	16,7	29,1	1,3	2,5	10,5
32	5,7	6,8	5,3	14,7	1,0	0,9	5,7
39	4,6	5,8	8,3	35,5	0,9	1,8	9,5
Mittel	7,6	11,0	8,8	14,5	0,9	1,4	7,4

Tabelle 4.64: Korrelationskoeffizienten (r) der mikrobiologischen Parameter aus Tabelle 4.62 und der abiotischen Parameter aus Tabelle 4.61 für die Mineraloberböden der Grünland- und Ackerstandorte des Untersuchungsjahres 2019. Signifikante Korrelationen sind mit Sternchensymbolen markiert (* Signifikanzniveau $\leq 0,05$, ** Signifikanzniveau $\leq 0,01$). Die Anzahl der Datensätze (N) beträgt mit Ausnahme der SIR-Parameter jeweils 7 bzw. 5 für Tongehalte.

	C_{mic}-CFE	C_{mic}-SIR	N_{mic}-CFE	R_B-Hein	ARG	Q_{mic}-CFE	Q_{mic}-SIR	Q_{met}-CFE	Q_{met}-SIR
Ton	0,43	0,88*	0,53	0,74	0,83*	0,02	0,34	0,52	0,08
C_{org}	0,93**	0,81*	0,85*	0,40	0,67	-0,04	-0,46	-0,26	0,00
N_t	0,97**	0,80	0,92**	0,49	0,73	0,09	-0,42	-0,20	0,12
C_{org}/N_t	-0,15	-0,16	-0,32	-0,43	-0,40	-0,69	-0,75	-0,40	-0,20
N_{min}	0,91**	0,64	0,94**	0,54	0,73	0,37	-0,19	-0,08	0,31
NH₄⁺-N	0,88**	0,45	0,94**	0,60	0,71	0,50	-0,28	-0,00	0,55
NH₄⁺-N%	0,28	0,15	0,40	0,49	0,38	0,84*	0,13	0,31	0,63
NO₃⁻	0,37	0,69	0,27	-0,02	0,26	-0,37	0,11	-0,28	-0,66
Tr. Rohdichte	-0,86*	-0,76	-0,96**	-0,83*	-0,94**	-0,39	0,12	-0,27	-0,56
H₂O	0,84*	0,72	0,94**	0,88**	0,96**	0,39	-0,14	0,35	0,64
pH	-0,02	0,01	0,19	0,55	0,46	0,27	0,86*	0,69	0,33
Temperatur	0,17	0,03	-0,01	-0,40	-0,23	-0,65	-0,65	-0,60	-0,31
Niederschläge	0,07	0,53	0,21	0,65	0,63	-0,10	0,60	0,72	0,06
C_{mic}-CFE	1	0,69	0,96**	0,50	0,72	0,21	-0,46	-0,20	0,26
C_{mic}-SIR	0,69	1	0,71	0,58	0,81*	0,19	0,08	0,09	-0,01
N_{mic}-CFE	0,96**	0,71	1	0,69	0,85*	0,37	-0,30	0,04	0,46
R_B-Hein	0,50	0,58	0,69	1	0,94**	0,44	0,16	0,73	0,75
ARG	0,72	0,81*	0,85*	0,94**	1	0,35	0,05	0,51	0,56
Q_{mic}-CFE	0,21	0,19	0,37	0,44	0,35	1	0,40	0,31	0,59
Q_{mic}-SIR	-0,46	0,08	-0,30	0,16	0,05	0,40	1	0,55	-0,14
Q_{met}-CFE	-0,20	0,09	0,04	0,73	0,51	0,31	0,55	1	0,58
Q_{met}-SIR	0,26	-0,01	0,46	0,75	0,56	0,59	-0,14	0,58	1

Tabelle 4.65: Korrelationskoeffizienten (r) der mikrobiologischen Parameter aus Tabelle 4.62 und der abiotischen Parameter aus Tabelle 4.61 für die Mineraloberböden der Waldstandorte des Untersuchungsjahres 2019. Signifikante Korrelationen sind mit Sternchensymbolen markiert (* Signifikanzniveau $\leq 0,05$, ** Signifikanzniveau $\leq 0,01$). Die Anzahl der Datensätze (N) beträgt jeweils 5.

	C _{mic} -CFE	C _{mic} -SIR	N _{mic} -CFE	R _B -Hein	ARG	Q _{mic} -CFE	Q _{mic} -SIR	Q _{met} -CFE	Q _{met} -SIR
Ton	0,98**	n.b.	0,97**	0,92*	0,45	-0,46	n.b.	0,25	n.b.
C_{org}	0,97**	n.b.	0,86	0,84	0,33	-0,67	n.b.	0,05	n.b.
N_t	0,93*	n.b.	0,97**	0,90*	0,46	-0,35	n.b.	0,31	n.b.
C_{org}/N_t	-0,32	n.b.	-0,56	-0,42	-0,40	-0,20	n.b.	-0,40	n.b.
N_{min}	0,94*	n.b.	0,99**	0,98**	0,39	-0,23	n.b.	0,46	n.b.
NH₄⁺-N	0,94*	n.b.	0,99**	0,98**	0,33	-0,22	n.b.	0,49	n.b.
NH₄⁺-N%	-0,04	n.b.	-0,17	0,03	-0,94*	0,21	n.b.	0,38	n.b.
NO₃⁻	0,87	n.b.	0,95*	0,88*	0,65	-0,27	n.b.	0,31	n.b.
Tr. Roh-dichte	0,37	n.b.	0,31	0,46	-0,02	-0,01	n.b.	0,31	n.b.
H₂O	0,96**	n.b.	0,81	0,83	0,27	-0,68	n.b.	0,04	n.b.
pH	0,97**	n.b.	0,97**	0,98**	0,37	-0,32	n.b.	0,40	n.b.
Temperatur	-0,02	n.b.	-0,06	-0,27	0,77	-0,58	n.b.	-0,80	n.b.
Niederschläge	-0,61	n.b.	-0,66	-0,48	-0,63	0,46	n.b.	0,11	n.b.
C_{mic}-CFE	1	n.b.	0,94*	0,93*	0,34	-0,51	n.b.	0,23	n.b.
C_{mic}-SIR	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
N_{mic}-CFE	0,94*	n.b.	1	0,97**	0,42	-0,26	n.b.	0,43	n.b.
R_B-Hein	0,93*	n.b.	0,97**	1	0,24	-0,18	n.b.	0,55	n.b.
ARG	0,34	n.b.	0,42	0,24	1	-0,40	n.b.	-0,33	n.b.
Q_{mic}-CFE	-0,51	n.b.	-0,26	-0,18	-0,40	1	n.b.	0,69	n.b.
Q_{mic}-SIR	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Q_{met}-CFE	0,23	n.b.	0,43	0,55	-0,33	0,69	n.b.	1	n.b.
Q_{met}-SIR	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

Tabelle 4.66: Korrelationskoeffizienten (r) der mikrobiologischen Parameter aus Tabelle 4.62 und der abiotischen Parameter aus Tabelle 4.61 für die Mineraloberböden aller Standorte des Untersuchungsjahres 2019. Signifikante Korrelationen sind mit Sternchensymbolen markiert (* Signifikanzniveau $\leq 0,05$, ** Signifikanzniveau $\leq 0,01$). Die Anzahl der Datensätze (N) beträgt mit Ausnahme der SIR-Parameter jeweils 12 (Tongehalte nicht für Niedermoorstandorte).

	C_{mic}-CFE	C_{mic}-SIR	N_{mic}-CFE	R_B-Hein	ARG	Q_{mic}-CFE	Q_{mic}-SIR	Q_{met}-CFE	Q_{met}-SIR
Ton	0,52	0,88*	0,62*	0,78**	0,83**	0,17	0,34	0,56	0,08
C_{org}	0,92**	0,81*	0,83**	0,46	0,65*	0,02	-0,46	-0,16	-0,01
N_t	0,97**	0,80	0,92**	0,57	0,75**	0,20	-0,42	-0,05	0,12
C_{org}/N_t	-0,31	-0,16	-0,44	-0,41	-0,47	-0,54	-0,75	-0,33	-0,20
N_{min}	0,91**	0,64	0,95**	0,65*	0,78**	0,46	-0,19	0,10	0,31
NH₄⁺-N	0,90**	0,45	0,95**	0,68*	0,76**	0,52	-0,28	0,15	0,55
NH₄⁺-N%	0,16	0,15	0,21	0,32	0,15	0,48	0,13	0,23	0,63
NO₃⁻	0,46	0,69	0,40	0,15	0,39	-0,08	0,11	-0,13	-0,66
Tr. Roh-dichte	-0,86**	-0,76	-0,94**	-0,84**	-0,94**	-0,50	0,12	-0,36	-0,56
H₂O	0,86**	0,72	0,94**	0,90**	0,93**	0,40	-0,14	0,42	0,64
pH	0,30	0,01	0,50	0,66*	0,65*	0,50	0,86*	0,65*	0,33
Tempe-ratur	0,27	0,03	0,23	-0,01	0,21	-0,14	-0,65	-0,23	-0,31
Nieder-schläge	-0,02	0,53	0,03	0,35	0,31	0,05	0,60	0,48	0,06
C_{mic}-CFE	1	0,69	0,96**	0,59*	0,75**	0,31	-0,46	-0,05	0,26
C_{mic}-SIR	0,69	1	0,71	0,58	0,81*	0,19	0,08	0,09	-0,01
N_{mic}-CFE	0,96**	0,71	1	0,76**	0,87**	0,47	-0,30	0,19	0,46
R_B-Hein	0,59*	0,58	0,76**	1	0,93**	0,51	0,16	0,76**	0,75
ARG	0,75**	0,81*	0,87**	0,93**	1	0,49	0,05	0,56	0,56
Q_{mic}-CFE	0,31	0,19	0,47	0,51	0,49	1	0,40	0,43	0,59
Q_{mic}-SIR	-0,46	0,08	-0,30	0,16	0,05	0,40	1	0,55	-0,14
Q_{met}-CFE	-0,05	0,09	0,19	0,76**	0,56	0,43	0,55	1	0,58
Q_{met}-SIR	0,26	-0,01	0,46	0,75	0,56	0,59	-0,14	0,58	1

Ausgewählte bodenmikrobiologische und abiotische Untersuchungsergebnisse des Jahres 2019 befinden sich zum Gesamtvergleich aller BDF in den nachfolgenden sechs Abbildungen (Abbildung 4.71, Abbildung 4.70, Abbildung 4.73, Abbildung 4.72, Abbildung 4.75 und Abbildung 4.74).

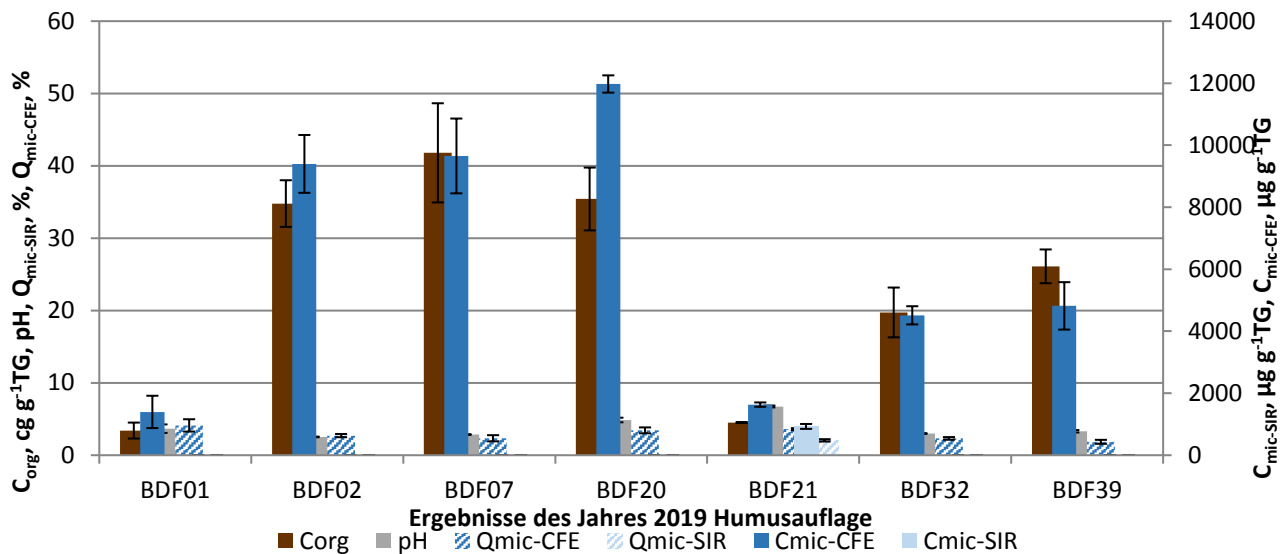


Abbildung 4.70: Vergleich der Untersuchungsergebnisse der im Jahr 2019 untersuchten BDF. Dargestellt sind der Gehalt organischen Kohlenstoffs (C_{org}), der pH, sowie die mikrobiellen Biomassen ($C_{mic-CFE}$ und $C_{mic-SIR}$) und die mikrobiellen Quotienten ($Q_{mic-CFE}$ und $Q_{mic-SIR}$) in der organischen Auflage. Die dargestellten BDF befinden sich unter folgender Nutzung: Sukzession: BDF01 List/Sylt, BDF21 Speicherkoog, Wald: BDF02 Süderlügum, BDF07 Pobüller Bauernholz, BDF20 Wüstenfelde, BDF32 Hahnheide, BDF39 Hevenbruch.

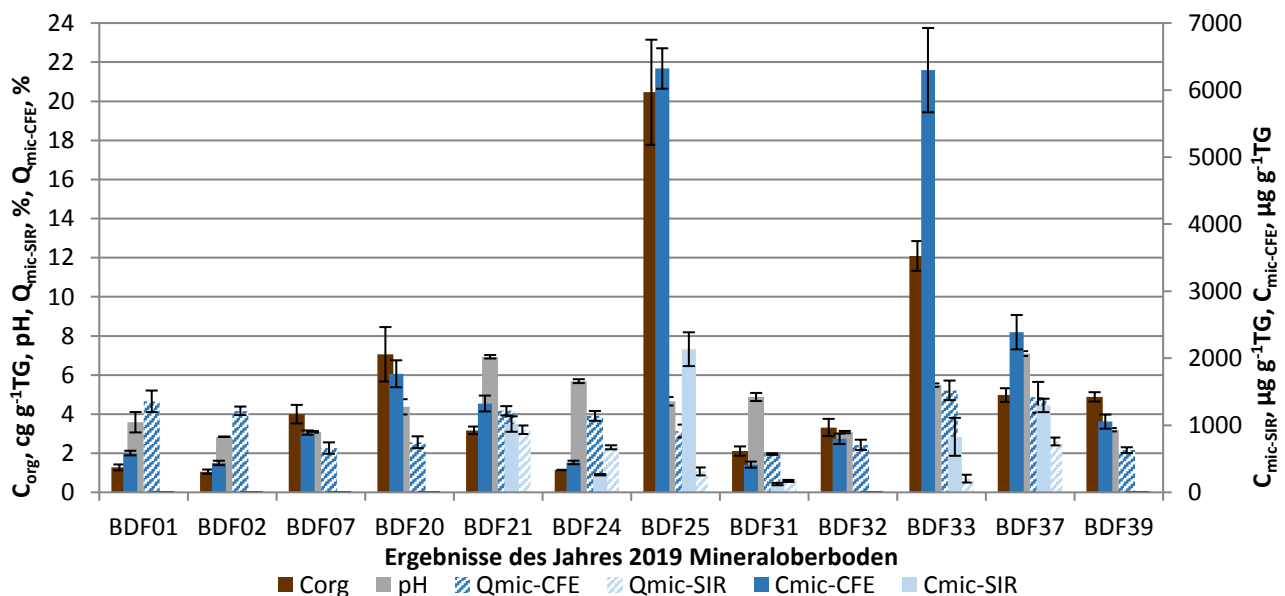


Abbildung 4.71: Vergleich der Untersuchungsergebnisse der im Jahr 2019 untersuchten BDF. Dargestellt sind der Gehalt organischen Kohlenstoffs (C_{org}), der pH, sowie die mikrobiellen Biomassen ($C_{mic-CFE}$ und $C_{mic-SIR}$) und die mikrobiellen Quotienten ($Q_{mic-CFE}$ und $Q_{mic-SIR}$) im Mineraloberboden. Die dargestellten BDF befinden sich unter folgender Nutzung: Sukzession: BDF01 List/Sylt, BDF21 Speicherkoog, Grünland: BDF25 Landscheide, BDF33 Hellbachtal, BDF37 Hamburger Hallig, Wald: BDF02 Süderlügum, BDF07 Pobüller Bauernholz, BDF20 Wüstenfelde, BDF32 Hahnheide, BDF39 Hevenbruch, Acker: BDF24 Bornhöved, BDF31 Pinneberg.

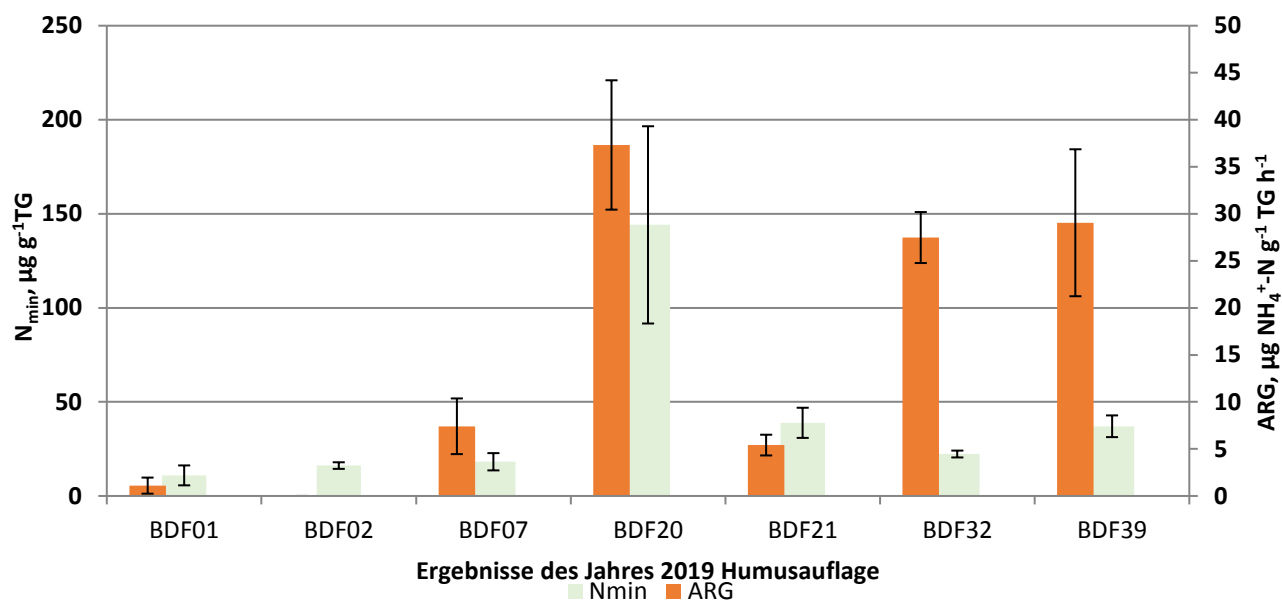


Abbildung 4.72: Vergleich der Untersuchungsergebnisse der im Jahr 2019 untersuchten BDF. Dargestellt sind der Gehalt mineralischen Stickstoffs (N_{min}) sowie die Argininammonifikation (ARG) in der organischen Auflage. Die dargestellten BDF befinden sich unter folgender Nutzung: Sukzession: BDF01 List/Sylt, BDF21 Speicherkoo, Wald: BDF02 Süderlügum, BDF07 Pobüller Bauernholz, BDF20 Wüstenfelde, BDF32 Hahnheide, BDF39 Hevenbruch.

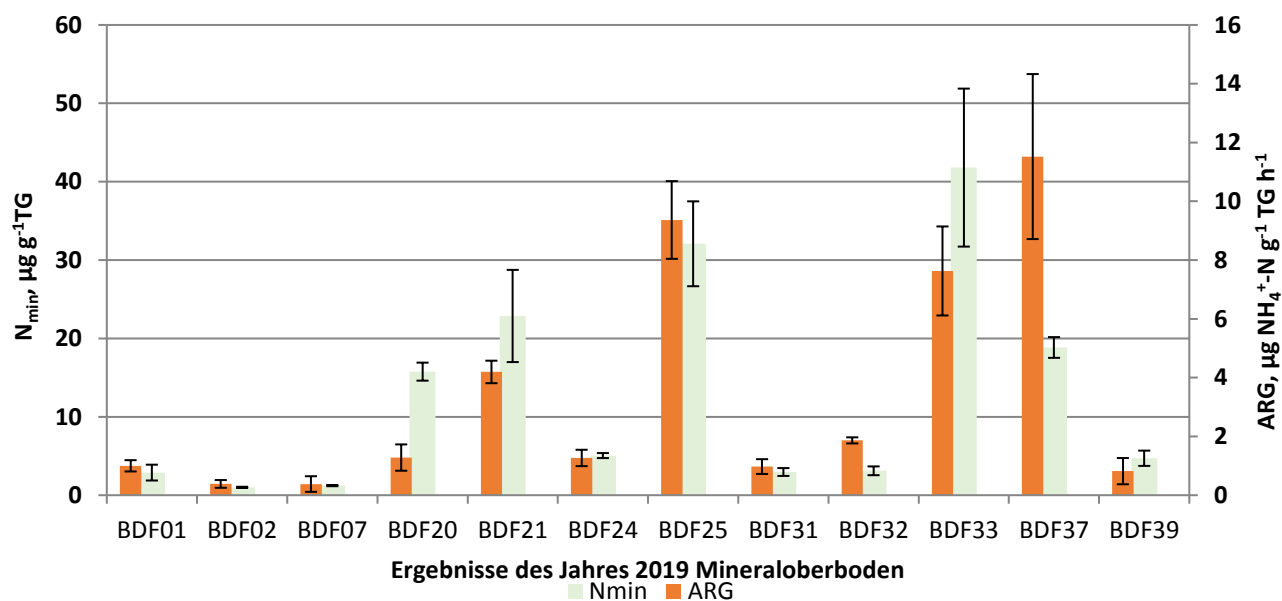


Abbildung 4.73: Vergleich der Untersuchungsergebnisse der im Jahr 2019 untersuchten BDF. Dargestellt sind der Gehalt mineralischen Stickstoffs (N_{min}) sowie die Argininammonifikation (ARG) im Mineraloberboden. Die dargestellten BDF befinden sich unter folgender Nutzung: Sukzession: BDF01 List/Sylt, BDF21 Speicherkoo, Grünland: BDF25 Landscheide, BDF33 Hellbachtal, BDF37 Hamburger Hallig, Wald: BDF02 Süderlügum, BDF07 Pobüller Bauernholz, BDF20 Wüstenfelde, BDF32 Hahnheide, BDF39 Hevenbruch, Acker: BDF24 Bornhöved, BDF31 Pinneberg.

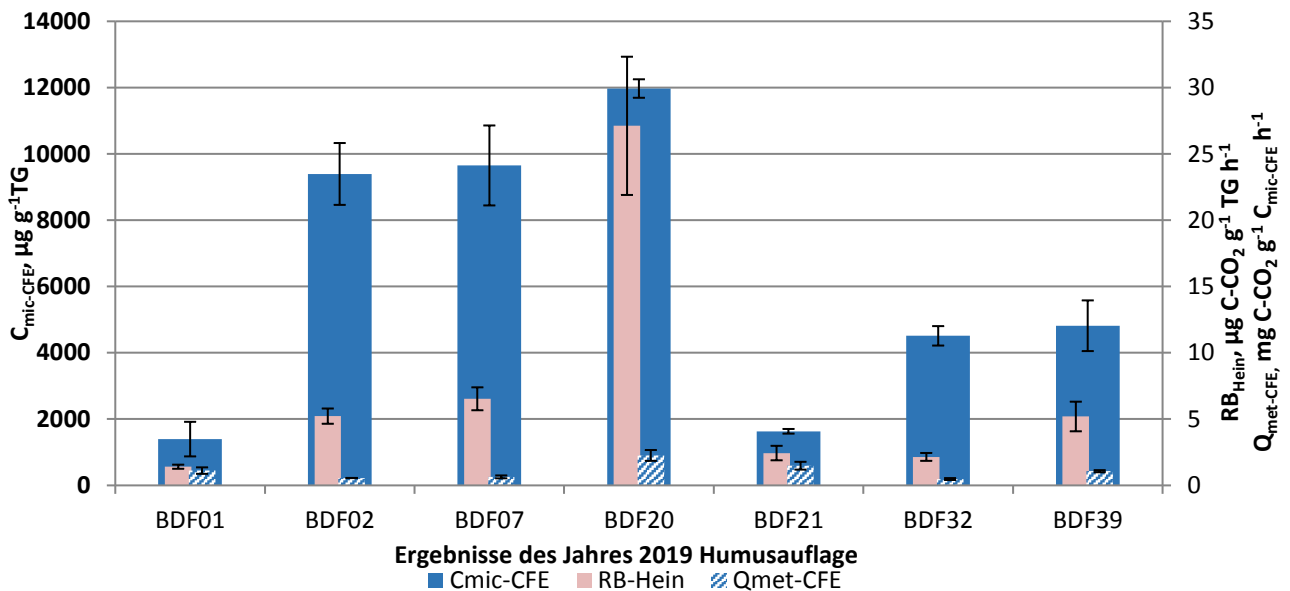


Abbildung 4.74: Vergleich der Untersuchungsergebnisse der im Jahr 2019 untersuchten BDF. Dargestellt sind der Gehalt der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$) sowie die Basalatmung (RB_{Hein}) und der metabolische Quotient der mikrobiellen Biomasse ($Q_{met-CFE}$) in der organischen Auflage. Die dargestellten BDF befinden sich unter folgender Nutzung: Sukzession: BDF01 List/Sylt, BDF21 Speicherkoog, Wald: BDF02 Süderlügum, BDF07 Pobüller Bauernholz, BDF20 Wüstenfelde, BDF32 Hahnheide, BDF39 Hevenbruch.

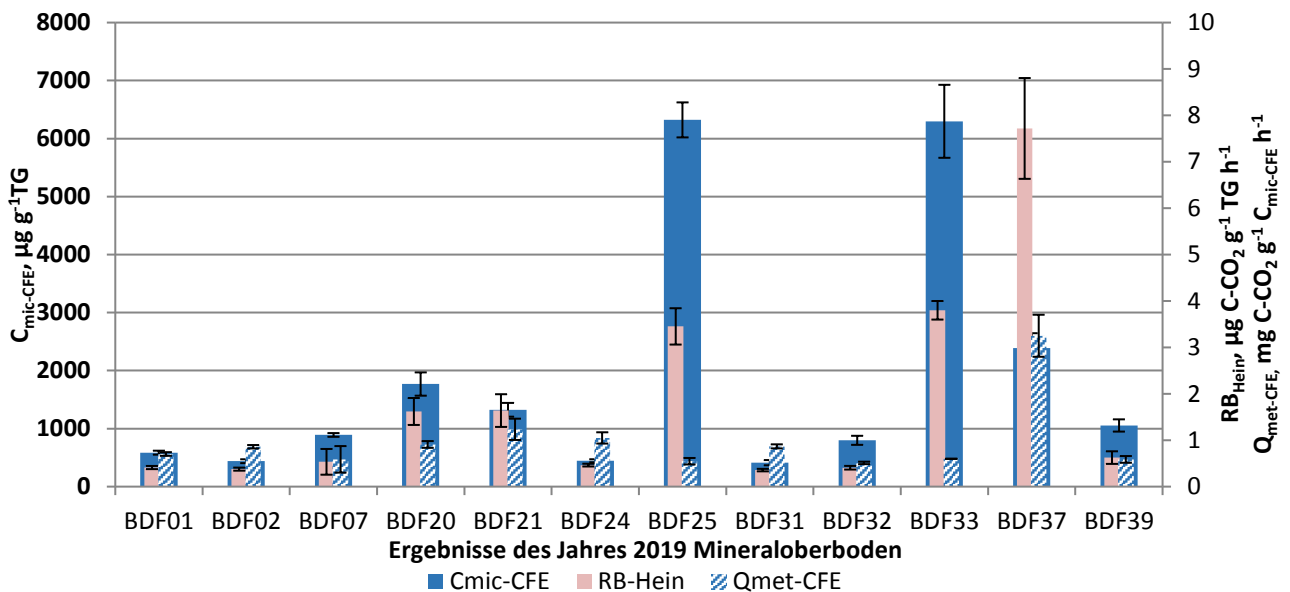


Abbildung 4.75: Vergleich der Untersuchungsergebnisse der im Jahr 2019 untersuchten BDF. Dargestellt sind der Gehalt der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$) sowie die Basalatmung (RB_{Hein}) und der metabolische Quotient der mikrobiellen Biomasse ($Q_{met-CFE}$) im Mineraloberboden. Die dargestellten BDF befinden sich unter folgender Nutzung: Sukzession: BDF01 List/Sylt, BDF21 Speicherkoog, Grünland: BDF25 Landscheide, BDF33 Hellbachtal, BDF37 Hamburger Hallig, Wald: BDF02 Süderlügum, BDF07 Pobüller Bauernholz, BDF20 Wüstenfelde, BDF32 Hahnheide, BDF39 Hevenbruch, Acker: BDF24 Bornhöved, BDF31 Pinneberg.

Aus den Werten der Tabellen Tabelle 4.61 und Tabelle 4.62 lassen sich für die einzelnen BDF schließlich drei Gruppen ableiten, in denen die BDF ähnliche Eigenschaften aufweisen.

Gruppe 1: BDF25 Landscheide und BDF33 Hellbachtal - Niedermoore

Bedingt durch das organische Ausgangssubstrat der Niedermoore weisen die beiden BDF25 Kuden-see/Landscheide und BDF33 Hellbachtal große Ähnlichkeiten in ihren Eigenschaften auf. Ein hoher Organikanteil ist auf beiden BDF entscheidend für die sehr lockere Lagerung sowie für den vergleichsweise niedrigen pH im mäßig bis schwach sauren Bereich. Auch die Gehalte des organischen Kohlenstoffs und des Gesamtstickstoffs sind auf diesen Flächen am höchsten. Ebenso weisen beide BDF aufgrund des hohen Gesamtstickstoffgehaltes die höchsten Anteile mineralischen Stickstoffs auf, dessen Zusammensetzung jedoch unterschiedlich ist. Die BDF33 Hellbachtal weist sehr niedrige Nitratgehalte auf.

Auch die mikrobielle Biomasse (C_{mic} und N_{mic}) befindet sich bei beiden BDF quantitativ auf höchstem Niveau, Unterschiede treten jedoch im Anteil der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse auf (Abbildung 4.71). Die Basalatmung liegt auf beiden BDF im vergleichsweise hohen Bereich, auch bei der Argininammonifikation ist zu erkennen, dass beide BDF mit den höchsten Werten in der gleichen Klasse, deutlich abgegrenzt zu den übrigen Standorten liegen. Die mikrobiellen Quotienten der beiden Niedermoore unterscheiden sich deutlich, jedoch ist nur der $Q_{mic-CFE}$ der BDF33 Hellbachtal deutlich höher als an den übrigen Standorten. Bei den $Q_{mic-SIR}$ zeichnen sich beide BDF durch vergleichsweise niedrige Werte aus. Auch die metabolischen Quotienten ($Q_{met-CFE}$) sind bei beiden BDF ähnlich hoch und zählen zu den niedrigsten (Abbildung 4.75). Die Effizienz der Mikroorganismen ist somit hoch.

Gruppe 2: BDF21 Speicherkoog und BDF37 Hamburger Hallig - Marschen

Beide Marschen-BDF (BDF21 Speicherkoog, BDF37 Hamburger Hallig) befinden sich auf holozänen, marinen Schluff- bis Tonsedimenten und sind durch ähnliche Eigenschaften in den abiotischen und in den bodenmikrobiologischen Parametern gekennzeichnet. So sind die Böden beider BDF stark bis sehr stark humos und weisen ein etwa gleichermaßen enges C_{org}/N_t -Verhältnis auf. Auch weisen beide BDF relativ hohe N_{min} -Gehalte auf (Abbildung 4.73), die Sukzessionsfläche der BDF21 Speicherkoog zeigt jedoch zudem die höchsten Nitrit- und Nitratwerte. Die Trockenrohdichte der BDF37 Hamburger Hallig ist im Vergleich deutlich geringer als bei der BDF21 Speicherkoog, beide werden jedoch als sehr gering eingestuft. Bei der Bodenacidität liegen beide BDF durch ihre Carbonatgehalte mit den höchsten pH-Werten im neutralen Bereich recht deutlich abgegrenzt zu den übrigen Standorten.

Die mikrobielle Biomasse ($C_{mic-CFE}$) liegt auf beiden BDF trotz unterschiedlicher Einstufungen in einem mittleren Bereich bezogen auf die übrigen BDF (Abbildung 4.71). Auch beim mikrobiellen Stickstoff grenzen sich die BDF recht deutlich von den übrigen ab. Größere Unterschiede ergeben sich jedoch bei der Argininammonifikation innerhalb dieser Gruppe (Abbildung 4.73). Die mikrobiellen Quotienten sind auf beiden BDF ähnlich hoch, die größten Unterschiede zeigen sich jedoch bei der Basalatmung und bei den metabolischen Quotienten, bei denen die BDF37 Hamburger Hallig die Höchstwerte zeigt (Abbildung 4.75).

Gruppe 3: BDF24 Bornhöved, BDF31 Pinneberg und BDF01 List/Sylt - Sonderflächen

Trotz ganz unterschiedlicher Nutzungsformen als Grünland mit Wechselwirtschaft, als Baumschule sowie als extensiv beweidete Sukzession ähneln sich die BDF24 Bornhöved, BDF31 Pinneberg und BDF01 List/Sylt in ihren Eigenschaften. Alle drei BDF weisen lediglich schwache bis mittlere Humusgehalte auf, wobei die Baumschul-BDF im Humusgehalt die zwei übrigen BDF deutlich übertrifft. Auch die Gesamtstickstoffgehalte grenzen die drei BDF deutlich von den Marschen- (BDF21 Speicherkoog, BDF37 Hamburger Hallig) und Niedermoor (BDF25 Landscheide, BDF33 Hellbachtal)-BDF ab. Diese sind bei den drei BDF auf einem etwa gleich niedrigen Niveau, was in Verbindung mit den unterschiedlichen Humusgehalten zu vergleichsweise weiten C_{org}/N_t -Verhältnissen führt. Der relativ niedrige Gehalt des mineralischen Stickstoffs grenzt diese drei BDF von den übrigen ab (Abbildung 4.73), in der Zusammensetzung zeigt sich jedoch, dass insbesondere die Acker-BDF31 Pinneberg deutlich mehr Nitrat aufweisen als die Grünland-BDF. Für die Gruppierung der drei BDF und für die Abgrenzung zu den zuvor beschriebenen Gruppen sprechen ebenfalls das sandige Substrat sowie die höchsten Trockenrohdichten dieser drei BDF. Der pH ist im aktuellen Untersuchungsjahr hingegen kein deutliches Gruppierungskriterium, da die pH-Unterschiede zwischen den drei BDF relativ groß sind (Abbildung 4.71).

Die Gruppierung dieser drei BDF lässt sich auch anhand der bodenmikrobiologischen Parameter vornehmen. Diese Gruppe weist im Gesamtvergleich die geringsten Gehalte der mikrobiellen Biomasse (C_{mic} und N_{mic}) auf (Abbildung 4.71), welche bei dem $N_{mic-CFE}$ -Gehalt auch innerhalb der Gruppe relativ dicht beieinanderliegen. Auch die sehr geringen mikrobiellen Aktivitäten als Basalatmung (Abbildung 4.75) und Argininammonifikation (Abbildung 4.73) grenzen diese Gruppe deutlich von den übrigen ab. Bei den metabolischen Quotienten war die Abgrenzung zu anderen Gruppen weniger ersichtlich.

Gruppe 4: BDF02 Süderlügum, BDF07 Pobüller Bauernholz, BDF20 Wüstenfelde, BDF32 Hahnheide und BDF39 Hevenbruch - Forststandorte

Als übergeordnetes Kriterium eignen sich für die Gruppierung der Waldstandorte die Bodenartengruppen bzw. Bodenartenhauptgruppen in Kombination mit der Waldgesellschaft, da die Tongehalte signifikanten Einfluss auf die Mikrobiologie ausübten. Durch Ähnlichkeiten bei den biotischen und abiotischen Parametern lassen sich die folgenden Gruppen unterscheiden:

Reinsand-Nadelwald: BDF02 Süderlügum

Lehmsand-Laubwald: BDF07 Pobüller Bauernholz, 32 Hahnheide und 39 Hevenbruch

Lehm-Laubwald: BDF20 Wüstenfelde

Anhand der untersuchten Parameter ist zu erkennen, dass der Reinsand-Nadelwald-Standort der BDF02 Süderlügum die geringsten Gehalte der abiotischen Parameter (Abbildung 4.71) sowie die niedrigsten Werte bei der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$, Abbildung 4.71, $N_{mic-CFE}$) und deren Aktivität (R_{B-Hein} , Abbildung 4.75, teilweise auch ARG, Abbildung 4.73) aufwies, während die Lehm-Laubwald-BDF20 Wüstenfelde bei allen Parametern die Höchstwerte erzielte. Die bodenmikrobiologischen Werte der drei Lehmsand-Laubwald-BDF (07 Pobüller Bauernholz, 32 Hahnheide und 39 Hevenbruch) lagen zwischen den Werten der beiden zuvor genannten Gruppen und insbesondere bei dem $C_{mic-CFE}$ -Gehalt sowie bei den mikrobiellen und metabolischen Quotienten relativ dicht beisammen. Auch die Größenordnung der C_{org} - und N_t -Gehalte sowie der pH-Werte kann eine Abgrenzung

zu den zwei erstgenannten BDF stützen. Die aufgeführte Gruppierung wird zudem durch die Humus/Mineralboden-Verhältnisse (Tabelle 4.63) weitgehend unterstrichen, wobei zu erkennen ist, dass die BDF02 Süderlügum durch die schwächsten und die BDF20 Wüstenfelde durch die stärksten vertikalen Stofftransporte gekennzeichnet waren.

Aufgrund der geringen Anzahl der Wald-BDF ist diese Differenzierung jedoch besonders bei der Reinsand-Nadelwald- (BDF02 Süderlügum) und bei der Lehm-Laubwald-Gruppe (BDF20 Wüstenfelde) nicht gesichert, da für die BDF dieser Gruppen keine Vergleichswerte des schleswig-holsteinischen BDF-Programms vorhanden sind.

4.13.3 Entwicklung der bodenmikrobiologischen Untersuchungsparameter seit der Erstuntersuchung

Die Untersuchungsparameter erfuhren im Verlauf des Untersuchungszeitraums (1995 bis 2019) wie in den Zeitreihendiagrammen dargestellt deutliche Veränderungen. Die statistische Prüfung der Zeitreihen auf signifikante, lineare Trends erfolgte mittels Pearson-Korrelation der Messwerte mit der Zeitachse. Die Kennwerte der linearen Trends sind in der Tabelle 4.67 als Korrelationskoeffizienten und jährliche Änderungsraten dargestellt.

Es zeigte sich, dass an allen Standorten signifikante Trends nachweisbar sind, wobei zwischen den Standorten deutliche Unterschiede in der Anzahl und Stärke der Trends zu verzeichnen waren. Auch bei den Parametern zeigten sich Unterschiede zwischen den Standorten. Die meisten Trends zeigten sich bei den Gehalten der mikrobiellen Biomasse ($C_{\text{mic-CFE}}$) und bei den mikrobiellen Quotienten ($Q_{\text{mic-CFE}}$). Die $C_{\text{mic-CFE}}$ -Gehalte zeigten an acht Standorten signifikante Zunahmen über den gesamten Untersuchungszeitraum. Die jährlichen Zunahmen lagen dabei im Bereich zwischen $12 \mu\text{g g}^{-1} \text{ TG}$ auf BDF31 Pinneberg und $181 \mu\text{g g}^{-1} \text{ TG}$ auf BDF33 Hellbachtal. Unter den Waldstandorten zeigten lediglich die BDF07 Pobüller Bauernholz und BDF20 Wüstenfelde lineare Zunahmen der $C_{\text{mic-CFE}}$ -Gehalte. Keine signifikanten Trends zeigten hingegen die BDF21 Speicherkoog, BDF02 Süderlügum, BDF32 Hahnheide und BDF39 Hevenbruch. Die mikrobiellen Quotienten ($Q_{\text{mic-CFE}}$) zeigten signifikante Trends sogar an zehn der zwölf Standorte. Die jährlichen Zuwachsraten lagen dabei zwischen 0,07 % auf BDF25 Landscheide und 0,2 % auf BDF24 Bornhöved und BDF37 Hamburger Hallig. Bezogen auf den Kohlenstoffgehalt nimmt die mikrobielle Biomasse somit auf nahezu allen BDF langfristig zu. Davon ausgenommen sind die Wald-Standorte BDF02 Süderlügum und BDF39 Hevenbruch. Die Gehalte der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($C_{\text{mic-SIR}}$) zeigten langfristige Zunahmen lediglich auf den BDF21 Speicherkoog, BDF24 Bornhöved und BDF37 Hamburger Hallig mit jährlichen Zuwachsraten zwischen 9 und $53 \mu\text{g g}^{-1} \text{ TG}$. Weiterhin zeigten sich langfristige Abnahmen der metabolischen Quotienten auf zwei Sukzessionsflächen (BDF01 Sylt, BDF21 Speicherkoog) und auf zwei Waldstandorten (BDF07 Pobüller Bauernholz und BDF32 Hahnheide). Die Effizienz der Mikroorganismen nahm an diesen Standorten somit langfristig zu. Die langfristigen Änderungen der Argininammonifikation (ARG) waren weniger eindeutig. Diese nahm auf der BDF37 Hamburger Hallig zu, während an den Standorten BDF31 Pinneberg und BDF32 Hahnheide langfristige Abnahmen zu verzeichnen waren.

Auch bei den abiotischen Parametern zeigten sich gegenläufige Trends. Der C_{org} -Gehalt nahm dabei an den Standorten BDF24 Bornhöved und BDF37 Hamburger Hallig über die Jahre signifikant zu, während auf der BDF32 Hahnheide eine langfristige Abnahme zu verzeichnen war. Ähnlich zeigte

sich dies bei den N_t -Gehalten. Die C_{org}/N_t -Verhältnisse verengten sich langfristig auf den BDF02 Süderlügum und BDF31 Pinneberg und zeigten damit eine Zunahme der Humusqualität an. Umgekehrt war der Trend auf der BDF07 Pobüller Bauernholz. Eine langfristige Abnahme der pH-Werte zeigte sich an den Standorten BDF37 Hamburger Hallig und BDF39 Hevenbruch, während auf BDF24 Bornhöved ein Anstieg zu verzeichnen war. Die Trockenrohdichte nahm an den Waldstandorten BDF20 Wüstenfelde und BDF32 Hahnheide langfristig zu, während die BDF37 Hamburger Hallig eine langfristige Abnahme zeigte.

Tabelle 4.67: Lineare Trends der bodenmikrobiologischen und abiotischen Parameter der Standorte für den gesamten Untersuchungszeitraum (1995 bis 2019). Angegeben sind die Korrelationskoeffizienten der Parameter mit der Zeitachse sowie darunter die jährliche Änderungsrate in absoluten Einheiten bei vorhandener Signifikanz (* Signifikanzniveau $\leq 0,05$; ** Signifikanzniveau $\leq 0,01$). Zunehmende Gehalte: grün; abnehmende Gehalte: rot.

BDF	$C_{mic-CFE}$ $\mu g\ g^{-1}\ TG$	$C_{mic-SIR}$ $\mu g\ g^{-1}\ TG$	$N_{mic-CFE}$ $\mu g\ g^{-1}\ TG$	$Q_{mic-CFE}$ %	$Q_{mic-SIR}$ %	$R_B\text{-Hein}$ $\mu g\ CO_2\text{-}C\ g^{-1}\ TG\ h^{-1}$	ARG $\mu g\ NH_4^+\text{-}N\ g^{-1}\ TG\ h^{-1}$	$Q_{met-CFE}$ $\mu g\ CO_2\text{-}C\ mg^{-1}\ C_{mic-CFE}\ h^{-1}$	C_{org} $cg\ g^{-1}\ TG$	N_t $cg\ g^{-1}\ TG$	C_{org}/N_t	pH	Tr.Rohdichte $g\ TG\ cm^{-3}$
01	0,83* 18,6	0,82	-0,09	0,86** 0,15	0,41	0,08	-0,37	-0,87* -0,22	0,07	0,29	-0,11	-0,32	0,56
21	0,66	0,79* 26,8	0,17	0,78* 0,14	0,89** 0,09	0,38	-0,35	-0,79* -0,18	-0,31	-0,04	-0,13	-0,38	0,38
25	0,75* 154	0,30	0,19	0,72* 0,07	0,23	0,53	-0,10	-0,30	0,46	-0,11	0,59	-0,54	-0,42
33	0,87** 181	0,05	0,28	0,85** 0,14	-0,04	0,28	-0,42	-0,66	0,41	0,23	0,02	0,47	-0,39
37	0,94** 118	0,87* 52,9	0,83	0,87* 0,19	0,66	0,74	0,81* 0,41	-0,51	0,97** 0,15	0,99** 0,02	0,52	-0,85* -0,01	-0,88* -0,01
02	0,11	0,10	-0,66	0,17	-0,15	0,29	-0,33	-0,21	0,16	0,58	-0,74* -0,48	-0,34	-0,27
07	0,91** 53,3	0,70	-0,21	0,89** 0,13	-0,79	-0,03	-0,16	-0,85* -0,53	0,34	0,09	0,79* 0,58	-0,39	-0,47
20	0,89** 74,9	0,80	0,95** 3,48	0,88** 0,11	0,61	0,12	-0,46	-0,69	0,62	0,64	-0,18	0,40	0,82* 0,02
32	0,55	-0,17	-0,77	0,89** 0,09	0,48	-0,80* -0,02	-0,71* -0,27	-0,96** -0,21	-0,77* -0,27	-0,75* -0,01	-0,10	0,16	0,90** 0,02
39	0,85	1,00**	-0,23	0,78	1,00**	-0,39	-0,42	-0,69	-0,63	-0,22	-0,71	-0,89* -0,05	0,85
24	0,72* 23,5	0,74* 8,9	0,91** 0,94	0,69* 0,20	0,69	0,50	0,17	-0,68	0,88** 0,01	0,65	-0,56	0,76* 0,04	-0,42
31	0,78* 11,8	0,12	-0,19	0,77* 0,06	0,11	0,36	-0,83* -0,06	-0,36	-0,26	0,23	-0,79* -0,25	-0,48	0,23
pos.	8	3	2	10	1		1		2	1	1	1	2
neg.						1	2	4	1	1	2	2	1

4.13.4 Beziehungen zum Klima und zum Wasserhaushalt

Der Zusammenhang zwischen den bodenmikrobiologischen Parametern und den standörtlichen Klimaverhältnissen lässt sich über eine Korrelation der mikrobiellen Quotienten mit den mittleren Vorjahrestemperaturen und den mittleren Vorjahresniederschlagssummen beschreiben. Die Abhängigkeit der mikrobiellen Quotienten von den Vorjahrestemperaturen ist in der Abbildung 4.76 dargestellt. Es zeigte sich, dass die mikrobiellen Quotienten der gesamten mikrobiellen Biomasse ($Q_{\text{mic-CFE}}$) nahezu keinen linearen Zusammenhang zu den Vorjahrestemperaturen aufweisen ($R^2 = 0,02$). Zwar zeigt sich ein deutliches Gefälle zwischen dem kühlssten Standort BDF02 Süderlügum ($Q_{\text{mic-CFE}} = 4\%$) und dem wärmsten Standort BDF31 Pinneberg ($Q_{\text{mic-CFE}} = 2\%$), jedoch weisen andere Standorte, deren Vorjahrestemperatur sich im mittleren Bereich ($10,3\text{ °C}$) befand (BDF01 Sylt, BDF33 Hellbachtal) deutlich höhere mikrobielle Quotienten auf. Die Betrachtung der mikrobiellen Quotienten der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{\text{mic-SIR}}$) zeigte hingegen einen deutlicheren Zusammenhang mit den Vorjahrestemperaturen ($R^2 = 0,44$), wobei anzumerken ist, dass lediglich für die Hälfte der Standorte die $Q_{\text{mic-SIR}}$ -Werte gemessen wurden. Es besteht ein deutliches Gefälle der mikrobiellen Quotienten mit zunehmender Temperatur. Hierbei weisen die kühlssten Standorte BDF24 Bornhöved und BDF37 Hamburger Hallig höhere $Q_{\text{mic-SIR}}$ -Werte auf als die wärmeren Standorte BDF25 Landscheide, BDF31 Pinneberg und BDF33 Hellbachtal. Die Sukzessionsfläche BDF21 Speicherkoog weicht von dieser Beziehung jedoch deutlich ab und zeigt bei mittlerer Temperatur den höchsten mikrobiellen Quotienten. Aus dieser Beziehung wird ersichtlich, dass die Temperaturunterschiede die Varianz der aktiven Mikroorganismen zu über 40 % erklärt, jedoch ist nicht unbedingt ein direkter Zusammenhang gegeben. Möglich ist, dass die Vorjahrestemperaturen an den wärmeren Standorten einen höheren Trockenstress auslösten als an den kühleren Standorten.

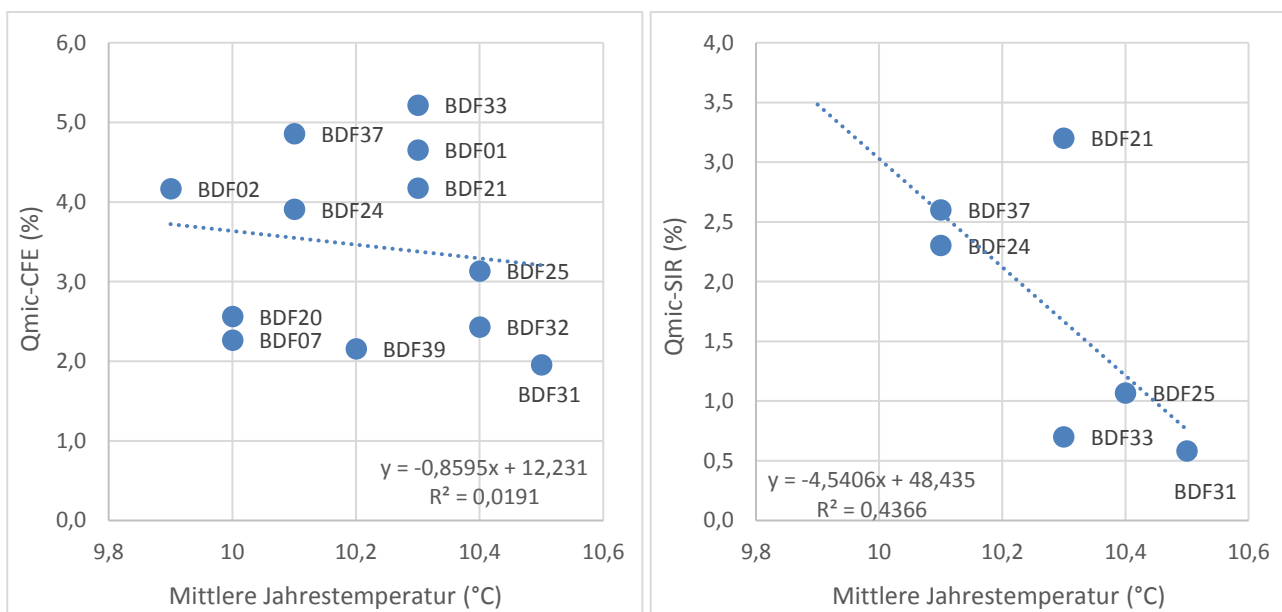


Abbildung 4.76: Mikrobielle Quotienten in Abhängigkeit von den Vorjahrestemperaturen 2018.

Bei der Betrachtung der Vorjahresniederschläge zeigte sich für die mikrobiellen Quotienten der gesamten mikrobiellen Biomasse ($Q_{\text{mic-CFE}}$) ebenso kein eindeutiger Zusammenhang (Abbildung 4.77). Die niederschlagsärmsten Standorte BDF01 Sylt und BDF39 Hevenbruch zeigten einen sehr

großen Unterschied bei den mikrobiellen Quotienten, was auch der Fall bei den niederschlagsreichsten Standorten BDF07 Pobüller Bauernholz und BDF37 Hamburger Hallig war. Somit können die Unterschiede in den mikrobiellen Quotienten für das gesamte Standortkollektiv nicht durch die Niederschlagsmengen erklärt werden. Anders zeigte sich dies für die mikrobiellen Quotienten der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{\text{mic-SIR}}$) der sechs Standorte. Hierbei ließen sich 35 % der $Q_{\text{mic-SIR}}$ -Varianz auf die unterschiedlich hohen Vorjahresniederschläge zurückführen. Mit zunehmenden Niederschlägen nahmen auch die mikrobiellen Quotienten zu. Insbesondere war dies zwischen der niederschlagsärmsten BDF33 Hellbachtal und der niederschlagsreichsten BDF37 Hamburger Hallig zu erkennen.

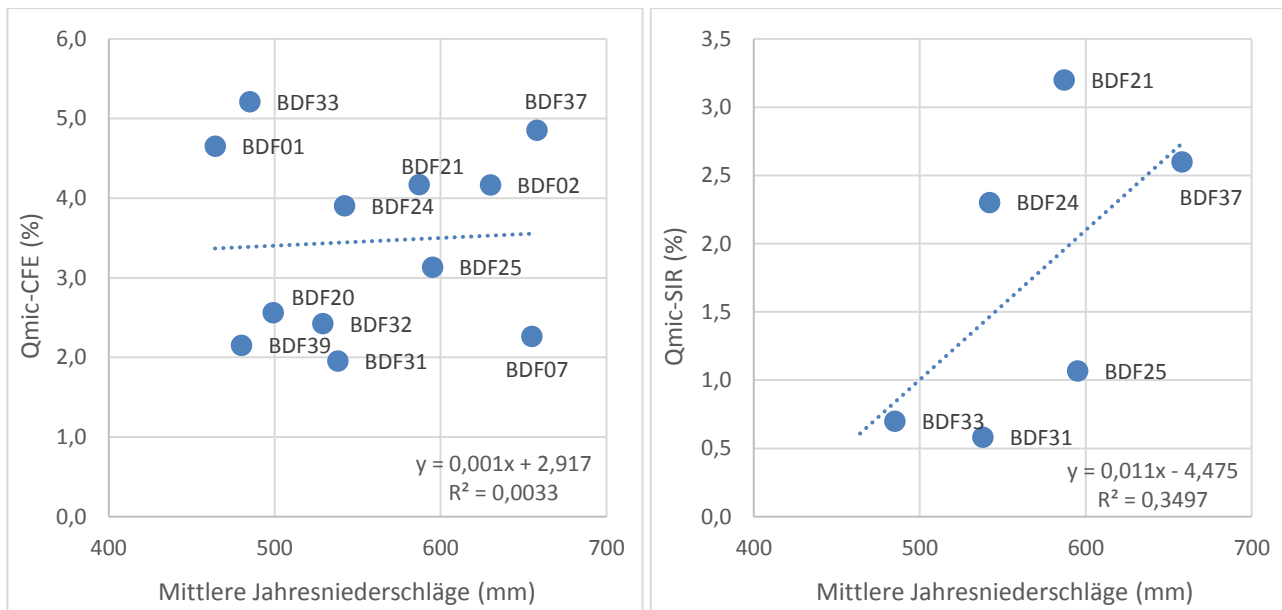


Abbildung 4.77: Mikrobielle Quotienten in Abhängigkeit von den Vorjahresniederschlägen 2018.

Ein Zusammenhang zwischen den mikrobiellen Quotienten und den bodenkundlichen Feuchtegraden war lediglich schwach ausgeprägt (Abbildung 4.78), obwohl der Bodenwasserhaushalt erwartungsgemäß einen größeren Einfluss auf die Bodenorganismen haben sollte als die Niederschlagsmengen oder die Lufttemperaturen. Lediglich bei den mikrobiellen Quotienten der gesamten mikrobiellen Biomasse ($Q_{\text{mic-CFE}}$) war ein leichter, positiver Einfluss der bodenkundlichen Feuchtegrade erkennbar ($R^2 = 0,097$). Dabei zeigten sich die höchsten mikrobiellen Quotienten an den grundwassernahen Standorten BDF33 Hellbachtal und BDF37 Hamburger Hallig. An weiteren Standorten mit guter Wasserverfügbarkeit wie den BDF07 Pobüller Bauernholz und BDF25 Landscheide zeigten sich jedoch deutlich niedrigere $Q_{\text{mic-CFE}}$ -Werte, welche zum Teil viel niedriger waren als an den grundwasserfernen, sandigen BDF01 Sylt, BDF02 Süderlügum oder BDF24 Bornhöved. Dass die mikrobiellen Quotienten mit zunehmender Wasserverfügbarkeit ansteigen, lässt sich nur bedingt beobachten. Für die mikrobiellen Quotienten der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{\text{mic-SIR}}$) ist kein Zusammenhang mit dem Bodenwasserhaushalt erkennbar.

Aufgrund der starken Heterogenität der zwölf Standorte hinsichtlich Substrat und Nutzung lassen sich die Einflüsse des Klimas insgesamt nicht so gut erfassen wie z. B. an reinen Ackerstandorten, da diese durch unterschiedliche Standortfaktoren zum Teil überlagert werden.

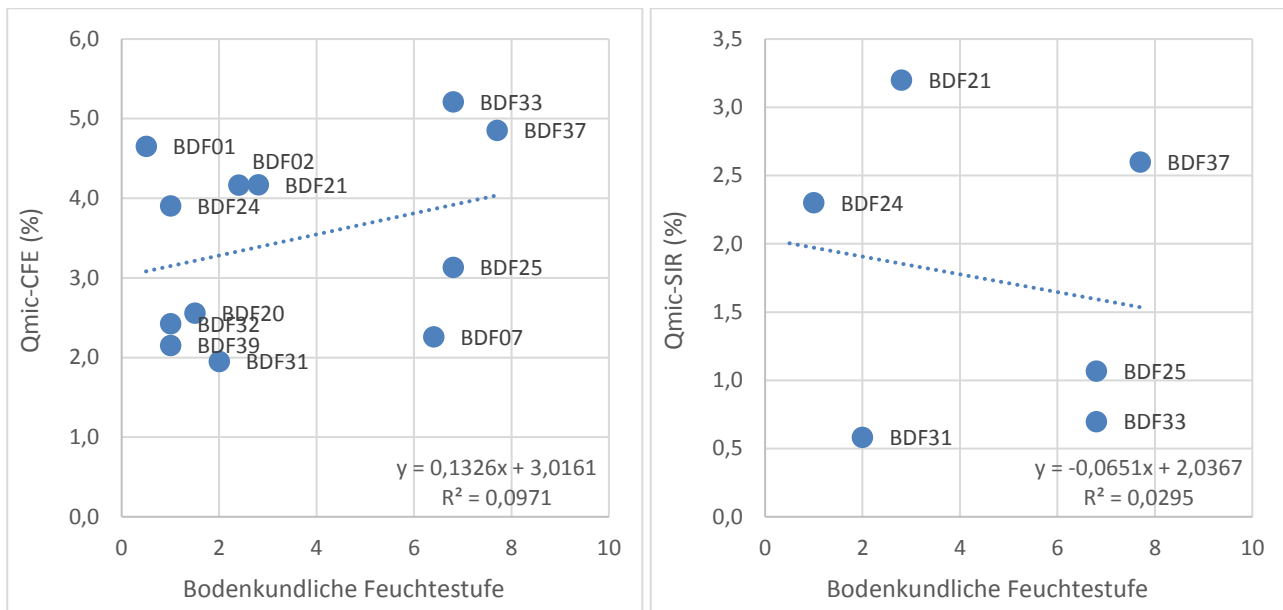


Abbildung 4.78: Mikrobielle Quotienten in Abhängigkeit von den bodenkundlichen Feuchtestufen 2018.

Insgesamt zeichnet sich ein Einfluss des Klimas und des Wasserhaushaltes auf die Bodenmikrobiologie in den Zeitreihendiagrammen ab. Die deutlich erkennbare Zunahme der mikrobiellen Biomasse ($C_{mic-CFE}$ und $Q_{mic-CFE}$) zu den Jahren 2011 und 2016 sowie die Abnahme zu den Jahren 1999 und 2013 auf nahezu allen BDF weisen auf einen überregionalen Einflussfaktor, wie es das Klima ist, hin. Aufgrund der Lücken zwischen den Untersuchungsjahren lassen sich klimatische Effekte allerdings schwer nachverfolgen bzw. verifizieren. Hinzu kommt eine Überlagerung mit den Effekten der abiotischen Standortfaktoren sowie mit den Auswirkungen von Bewirtschaftungsmaßnahmen.

4.13.5 Beziehungen zur Bewirtschaftung

Die Gruppierung der zwölf BDF beruht in erster Linie auf deren Ähnlichkeiten bei den bodenmikrobiologischen und abiotischen Eigenschaften, welche sich überwiegend aus dem Bodensubstrat und aus der Nutzung ergeben. Auf die Bewirtschaftungsunterschiede innerhalb und zwischen den Gruppen wird nachfolgend eingegangen.

Die beiden **Niedermoor-BDF** BDF25 Kudensee und BDF33 Hellbachtal werden als Grünland extensiv beweidet. Beide wiesen sehr hohe und insgesamt die höchsten mikrobiellen Biomassen ($C_{mic-CFE}$ und $C_{mic-SIR}$) auf. Bewirtschaftungsbedingte Unterschiede zeigten sich im Jahr 2018 gemäß Schlagkartei lediglich in der Beweidungsintensität sowie in der Pflege der Grasnarbe, welche auf der BDF25 Landscheide wenige Tage vor der Probenahme erfolgt ist. Die Beweidung im Vorjahr der Untersuchung war am Standort BDF25 Landscheide durch eine längere Weidedauer und durch eine höhere Besatzdichte als auf BDF33 Hellbachtal gekennzeichnet. Dies erklärt eventuell den großen Unterschied in den $C_{mic-SIR}$ -Gehalten, da die aktiven Mikroorganismen durch die höhere Zufuhr frischer organischer Substanz am Standort BDF25 Landscheide günstigere Bedingungen vorfanden.

Zusammenfassend lässt sich für die Niedermoor-BDF (BDF25 Landscheide, BDF33 Hellbachtal) feststellen, dass diese durch die höchsten mikrobiologischen Abundanzen und Aktivitäten gekennzeichnet waren. Dies hängt jedoch sehr wahrscheinlich eher mit dem organischen Bodensubstrat als mit

der Beweidung zusammen. Beweidete Standorte mineralischer Substrate des Untersuchungsjahres 2017 zeigten im Vergleich allesamt geringere bodenmikrobiologische Aktivitäten.

Die beiden **Marschen-BDF** 21 Speicherkoog und 37 Hamburger Hallig sind Sukzessionsflächen und unterliegen lediglich einer extensiven Beweidung durch Schafe (BDF37 Hamburger Hallig) und durch Wildtiere. Es findet somit eine weitgehend natürliche Entwicklung der Bodenmikrobiologie statt. Diese zeichnet sich bei den meisten bodenmikrobiologischen (abgesehen von R_{B-Hein} und Q_{met}) und abiotischen Parametern durch sehr ähnliche Werte beider BDF im hohen Bereich aus. Die vergleichsweise hohen mikrobiellen Quotienten können zunächst als Merkmal für die naturnahe Nutzung interpretiert werden.

Die BDF-Gruppe der **Sonderflächen** (BDF01 Sylt, BDF24 Bornhöved, BDF31 Pinneberg) zeigt in Bezug auf deren Bewirtschaftung größere Unterschiede durch einerseits die Grünland- bzw. Ackernutzung mit intensiver Bodenbearbeitung auf den BDF24 Bornhöved und Baumschulen BDF31 Pinneberg sowie durch andererseits die extensive Schafsbeweidung auf der Dünen-BDF01 List/Sylt. Trotz dieses Unterschieds waren die abiotischen und bodenmikrobiologischen Parameter in Abgrenzung zu den übrigen BDF-Gruppen recht ähnlich. Beide bewirtschafteten Standorte wiesen hohe mikrobielle Biomasse-Gehalte ($C_{mic-CFE}$) auf, die $C_{mic-CFE}$ -Gehalte der BDF24 Bornhöved und der Baumschul-BDF31 Pinneberg waren nahezu gleich hoch, jedoch für unterschiedliche Nutzungsformen (BDF24 Bornhöved: sandige Grünlandstandorte, BDF31 Pinneberg: sandige Ackerstandorte) klassifiziert. Beziehungen zwischen der Bewirtschaftung und der Bodenmikrobiologie zeigten sich insbesondere auf der BDF24 Bornhöved, wo die Bodenkalkung den pH-Wert stark anhub, was zu einer starken $C_{mic-CFE}$ -Zunahme zum Jahr 2016 beitrug. Die Abnahme der mikrobiellen Biomasse zum Jahr 2019 hing möglicherweise mit dem geringeren Düngemiteleinsatz 2018 zusammen. Im Vergleich der BDF24 Bornhöved und BDF31 Pinneberg, welche etwa gleich hohe $C_{mic-CFE}$ -Gehalte aufwiesen, zeigt sich, dass die Baumschul-BDF31 Pinneberg durch einen geringeren mikrobiellen Quotienten sowie durch geringere $N_{mic-CFE}$ -Gehalte gekennzeichnet war. Dies deutet darauf hin, dass die organische Substanz, welche bei der Baumschulbewirtschaftung dem Boden zugeführt wurde, von geringerer Qualität war (weiteres C_{org}/N_t -Verhältnis), so dass die Kohlenstoff- und Stickstoffassimilation durch die Mikroorganismen in geringerem Umfang erfolgte. Auf die Effizienz der Substratverwertung ($Q_{met-CFE}$) wirkte sich das jedoch nicht negativ aus, was eventuell darauf hinweist, dass beide Standorte unterschiedliche mikrobielle Gesellschaften beherbergen.

Bei der Gruppe der **Forststandorte** ist eine Beziehung der Bodenmikrobiologie zu der Bewirtschaftung schwierig herzustellen, da die Angaben zur Bewirtschaftung lediglich auf vereinzelte Baumstammentnahmen verweisen. Ausgehend von einer naturnahen Bewirtschaftung, da die BDF in Naturschutzgebieten gelegen sind, lässt sich sagen, dass diese Nutzungsform mit für Waldstandorte sehr hohen mikrobiellen Biomassen und mit sehr hohen Effizienzen der Mikroorganismen verbunden war.

4.13.6 Beziehungen zur Vegetationskunde

Auf den Marschen-BDF 21 Speicherkoog und BDF37 Hamburger Hallig zeigt sich, dass die natürliche Vegetation von Sukzessionsflächen den Bodenorganismen genügend Kohlenstoff und Stickstoff lieferte um hohe bis sehr hohe mikrobielle Biomassen zu versorgen. Auch die Zusammensetzung der Streu zeigte Auswirkungen auf die Bodenmikrobiologie, indem stickstoffreiche Streu ein für Mikroorganismen günstigeres C_{org}/N_t -Verhältnis schaffte und somit deren Wachstum begünstigte. Dies zeigte sich insbesondere auf der BDF24 Bornhöved, welche im Vergleich zur Baumschul BDF31 Pinneberg bei deutlich geringerem C_{org} -Gehalt eine höhere $C_{mic-CFE}$ und $C_{mic-SIR}$ aufwies, als die C_{org} -reichere BDF31 Pinneberg. Klee-Arten reicherten den Boden über die rhizobielle N-Fixierung zusätzlich mit Luft-Stickstoff an und förderten mikrobielles Wachstum auf den Niedermoor-BDF25 Kudensee und BDF33 Hellbachtal.

Bei den Waldstandorten zeigte sich, dass die Gehalte der mikrobiellen Biomasse im Mineraloberboden der Nadelwald-BDF02 Süderlügum deutlich geringer waren als in den Böden der Laubwälder. Dies hängt vermutlich damit zusammen, dass die Streu von Nadelbäumen aufgrund des weiteren C_{org}/N_t -Verhältnisses schwerer abzubauen ist, als die Streu der Laubgehölze und somit weniger organische Substanz in den Mineralboden verlagert wurde. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass die BDF02 Süderlügum nicht nur durch den geringeren C_{org} -Gehalt gekennzeichnet war, sondern auch einen viel geringeren Tongehalt aufwies als die übrigen BDF, so dass die Vegetation nicht allein ausschlaggebend war.

4.13.7 Beziehungen zur Zoologie

Bodenzoologische Untersuchungen wurden zuletzt im Herbst 2018 an den fünf Waldstandorten sowie an der Baumschul-BDF31 Pinneberg durchgeführt. Bei der Korrelation der bodenzoologischen Parameter mit den Gehalten der mikrobiellen Biomassen ($C_{mic-CFE}$) zeigten sich deutliche Zusammenhänge (Abbildung 4.79). Dabei war ersichtlich, dass die $C_{mic-CFE}$ -Gehalte mit zunehmenden Siedlungsdichten von Regen- und Kleinringelwürmern linear zunahmen. Der Nadelwaldstandort BDF02 Süderlügum wies dabei die niedrigste Regenwurmabundanz (abgesehen von der BDF32 Hahnheide, auf der keine Regenwürmer vorgefunden wurden) auf und zeigte auch bei dem Gehalt der mikrobiellen Biomasse den niedrigsten Wert. Dagegen war der regenwurmreichste Laubwald BDF20 Wüstenfelde durch die höchste mikrobielle Biomasse gekennzeichnet. Die übrigen, sandigen Waldstandorte BDF07 Pobüller Bauernholz und BDF39 Hevenbruch ordneten sich in dieser Beziehung in der Mitte ein. Die Varianz der mikrobiellen Biomassegehalte konnte zu über 80 % mit der Varianz der Regenwurmabundanzen ($R^2 = 0,83$) und der Regenwurmbiomassen ($R^2 = 0,89$) erklärt werden. Der Baumschulstandort BDF31 Pinneberg zeigte eine Sonderstellung mit der höchsten Anzahl an Regenwürmern bei vergleichsweise niedrigem Gehalt mikrobieller Biomasse.

Die Beziehung der mikrobiellen Biomassen zu den Abundanzen der Kleinringelwürmer war ebenfalls positiv. Mit steigenden Siedlungsdichten der Kleinringelwürmer waren auch zunehmende $C_{mic-CFE}$ -Gehalte feststellbar ($R^2 = 0,75$). Auch hier war der lehmige Waldstandort BDF20 Wüstenfelde durch die höchsten Kleinringelwurmabundanzen und mikrobielle Biomassegehalte gekennzeichnet. Mit abnehmenden Siedlungsdichten der Kleinringelwürmer waren auch niedrigere $C_{mic-CFE}$ -Gehalte verbunden. Anders als bei den Regenwurmabundanzen zeigte die Nadelwald-BDF02 Süderlügum eine

Ausreißerstellung, die Standorte BDF31 Pinneberg und BDF32 Hahnheide hingegen nicht. Unter Einbeziehung der BDF31 Pinneberg und unter Ausschluss der BDF02 Süderlügum ergibt sich eine nahezu vollständig lineare Beziehung zwischen der Kleinringelwurmabundanz und dem Gehalt der mikrobiellen Biomasse ($R^2 = 0,98$).

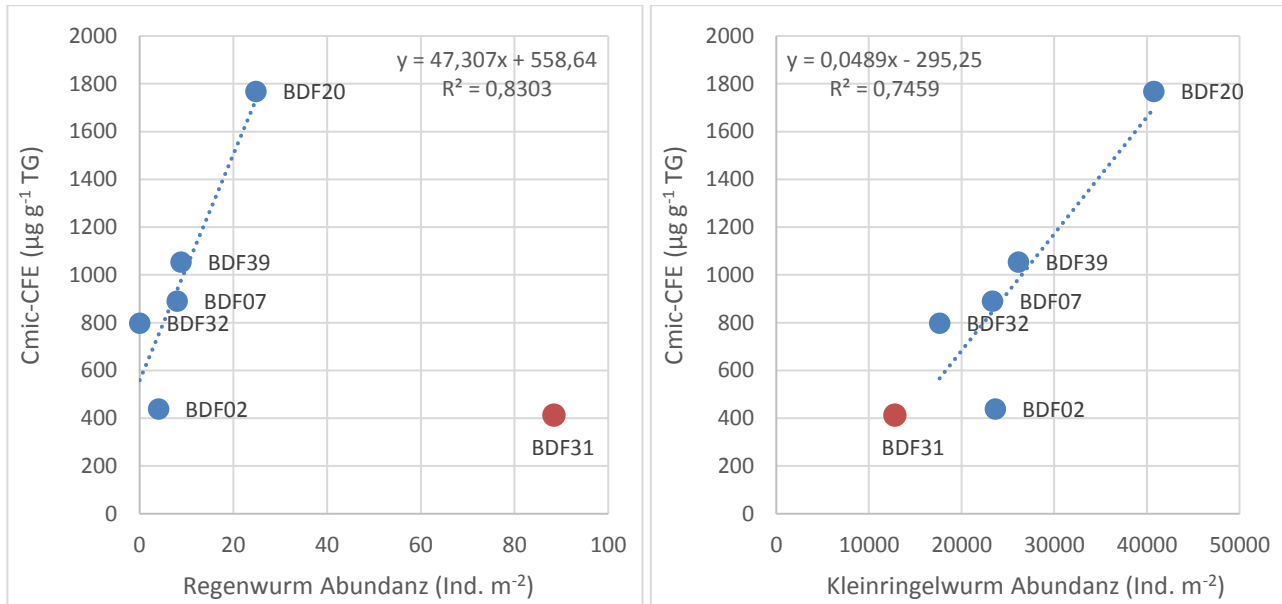


Abbildung 4.79: Mikrobielle Biomassegehalte in Abhängigkeit von den Abundanzen der Regen- und Kleinringelwürmer (BDF31 Pinneberg nicht in der Regressionsberechnung).

Aus diesen Korrelationen lässt sich ableiten, dass zwischen den Mikroorganismen und der Bodenfauna entweder eine direkte Beziehung in Form von Nahrungsketten besteht, oder dass beide Organismengruppen in gleicher Weise auf die Standortfaktoren und Umwelteinflüsse reagieren. Bei der Betrachtung der standortbezogenen Zeitreihen ist ein solcher Zusammenhang jedoch nicht erkennbar. Während die bodenzoologischen Parameter an den Forststandorten zwischen den letzten beiden Untersuchungskampagnen (2012 und 2018) größtenteils eine deutlich abnehmende Tendenz zeigten, war bei den Gehalten der mikrobiellen Biomassen zwischen den Untersuchungsjahren 2013 und 2019 stets ein deutlicher Anstieg zu verzeichnen.

5 Methodenanwendung und -kritik

5.1 Eignung der Methoden

Einige gleiche mikrobiologische Parameter wurden mit unterschiedlichen Methoden bestimmt. Für die Bestimmung der **mikrobiellen Biomasse** (C_{mic}) wurde für die Erhebung der Daten in diesem Bericht

1. die **Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode (CFE-Methode)** und
2. die Methode der **Substratinduzierten Atmung (SIR-Methode)** verwendet.

Die Daten für die **SIR-Methode** wurden zudem mit zwei unterschiedlichen Geräten, der **Heinemeyeranlage** sowie dem **Sapromaten**, gemessen. Zudem wurde die mikrobielle Biomasse am Sapromaten über den **Verbrauch von O_2** oder die **Bildung von CO_2** berechnet. Bei der Heinemeyeranlage wurde dagegen die Biomasse nur über die CO_2 -Bildung gemessen. Dadurch wurden vier verschiedene C_{mic} -Werte erhoben:

1. $C_{mic-CFE}$
2. $C_{mic-SIR}$ der Heinemeyeranlage CO_2
3. $C_{mic-SIR}$ als SIR-Sapromat O_2
4. $C_{mic-SIR}$ Sapromat CO_2

In dem vorliegenden Bericht sind nur die Werte der ersten beiden Messungen für die mikrobielle Biomasse angegeben. Die Ergebnisse der Sapromatmessungen finden sich im Anhang A 10.

Die **CFE-Methode** erfasst im Gegensatz zur SIR-Methode alle aktiven und ruhenden, autotrophen und heterotrophen Mikroorganismen. Mit der SIR-Methode werden dagegen nur Glucose-aktivierende aktive und heterotrophe Mikroorganismen detektiert. Zudem ist die Anwendung der SIR-Methode in Böden mit hohem C-Gehalt in Wald und Moorböden ungeeignet. Daher lassen sich die $C_{mic-CFE}$ mit den $C_{mic-SIR}$ -Werten nur bedingt vergleichen und die $C_{mic-CFE}$ -Werte müssten stets über den $C_{mic-SIR}$ Werten liegen. Dies zeigt sich jedoch bei allen sechs BDF, auf denen die mikrobielle Biomasse mit beiden Verfahren bestimmt wurde.

Die unterschiedlich bestimmten Werte der mikrobiellen Biomassen (Mineraloberböden) korrelierten zum Teil hochsignifikant (Tabelle 5.1), wobei die $C_{mic-CFE}$ -Gehalte lediglich mit den $C_{mic-Sapr. O_2}$ -Werten korrelierten. Bei den zahlenmäßigen Verhältnissen war ersichtlich, dass diese an den unterschiedlichen Standorten sehr verschieden waren (Abbildung 5.1). Im Mittel waren die $C_{mic-CFE}$ -Gehalte drei Mal so hoch wie die $C_{mic-Hein}$ -Gehalte, wobei die Verhältnisse zwischen 1,3 auf BDF21 Speicherkoog und 7,6 auf BDF33 Hellbachtal schwankten. Wesentlich höher waren die Unterschiede in den Verhältnissen der $C_{mic-CFE}$ -Gehalte zu den $C_{mic-Sapr. O_2}$ -Werten. Hier lag das mittlere Verhältnis bei sechs, wobei sich die Zahlen zwischen 3,1 auf BDF37 Hamburger Hallig und 10,7 auf BDF31 Pinneberg bewegten. Die größte Ähnlichkeit zu den $C_{mic-CFE}$ -Gehalten wiesen die $C_{mic-Sapr. CO_2}$ -Werte auf. Das mittlere Verhältnis lag bei 1,9, die Einzelwerte schwankten zwischen 1,0 auf BDF21 Speicherkoog und 3,7 auf BDF33 Hellbachtal.

Aus den signifikanten Korrelationen geht hervor, dass lineare Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Bestimmungsmethoden bestehen und dass die Verhältnisse der unterschiedlichen Biomassen auf allen Standorten etwa gleich waren. Dies war bei der Voruntersuchung 2013 weniger

der Fall. Somit haben sich diese Verhältnisse zum Jahr 2016 und 2019 entweder durch äußere Einflüsse oder durch die Änderung der Labormethoden angeglichen. Die Messungen an der Heinemeyeranlage erfolgten seit 2016 am IfB Hamburg und nicht mehr am Thünen-Institut in Braunschweig.

Tabelle 5.1: Korrelationskoeffizienten (r) aus den vier Methoden zur Bestimmung der mikrobiellen Biomasse im Mineraloberboden (* $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$, $N = 6$).

	$C_{mic-CFE}$	$C_{mic-Hein. CO_2}$	$C_{mic-Sapr. O_2}$	$C_{mic-Sapr. CO_2}$
$C_{mic-CFE}$	1	0,69	0,81*	0,54
$C_{mic-Hein. CO_2}$	0,69	1	0,83*	0,82*
$C_{mic-Sapr. O_2}$	0,81*	0,83*	1	0,91**
$C_{mic-Sapr. CO_2}$	0,54	0,82*	0,91**	1

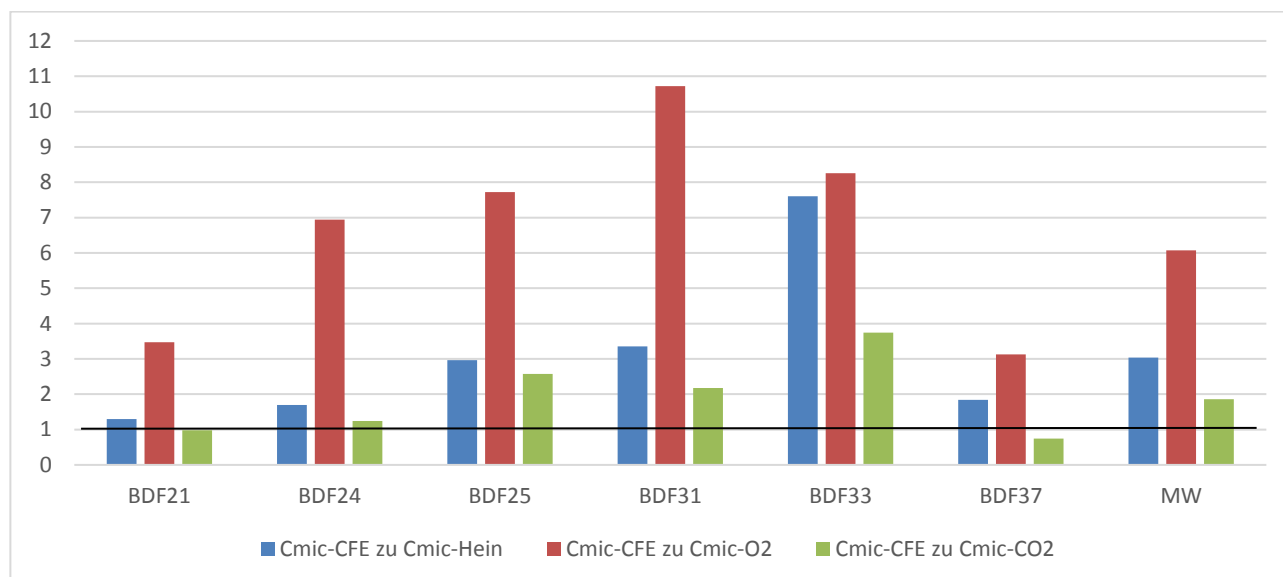


Abbildung 5.1: Zahlenmäßige Verhältnisse der $C_{mic-CFE}$ -Gehalte zu den $C_{mic-Hein.}$ -, $C_{mic-Sapr. O_2}$ - und $C_{mic-Sapr. CO_2}$ -Gehalten für die einzelnen Standorte und Mittelwerte. Schwarze Linie symbolisiert gleich hohe Werte.

Neben der mikrobiellen Biomasse wurde auch die **Basalatmung** der Mikroorganismen sowohl über die Heinemeyeranlage als auch über den Sapromaten bestimmt. Auch hier erfolgte die Bestimmung beim Sapromaten über den O_2 -Verbrauch bzw. die CO_2 -Bildung. Die Basalatmungswerte der drei Methoden korrelierten untereinander signifikant, wobei lediglich die Sapromatwerte O_2 und CO_2 keine Korrelationen miteinander aufwiesen (Tabelle 5.2). Die Verhältnisse der $R_{B-Hein. CO_2}$ -Werte zu den $R_{B-Sapr. O_2}$ -Werten waren im Mittel bei 0,7. Die an der Heinemeyeranlage bestimmten Respirationsraten waren somit im Mittel niedriger als am Sapromaten. An den einzelnen Standorten schwankten diese Verhältnisse zwischen 0,4 auf BDF33 Hellbachtal und 1,0 auf den BDF21 Speicherskoog, BDF24 Bornhöved, BDF31 Pinneberg und BDF37 Hamburger Hallig. Bei den Verhältnissen der $R_{B-Hein. CO_2}$ -Werte zu den $R_{B-Sapr. CO_2}$ -Werten lag der Mittelwert bei 0,6. Standortspezifisch lagen die Verhältnisse zwischen 0,5 auf BDF37 Hamburger Hallig und 3,5 auf BDF31 Pinneberg.

Tabelle 5.2: Korrelationskoeffizienten (r) aus den drei Methoden zur Bestimmung der mikrobiellen Basalatmung im Mineraloberboden (* $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$, $N = 6$).

	$R_{B-Hein. CO_2}$	$R_{B-Sapr. O_2}$	$R_{B-Sapr. CO_2}$
$R_{B-Hein. CO_2}$	1	0,82*	0,97**
$R_{B-Sapr. O_2}$	0,82*	1	0,72
$R_{B-Sapr. CO_2}$	0,97**	0,72	1

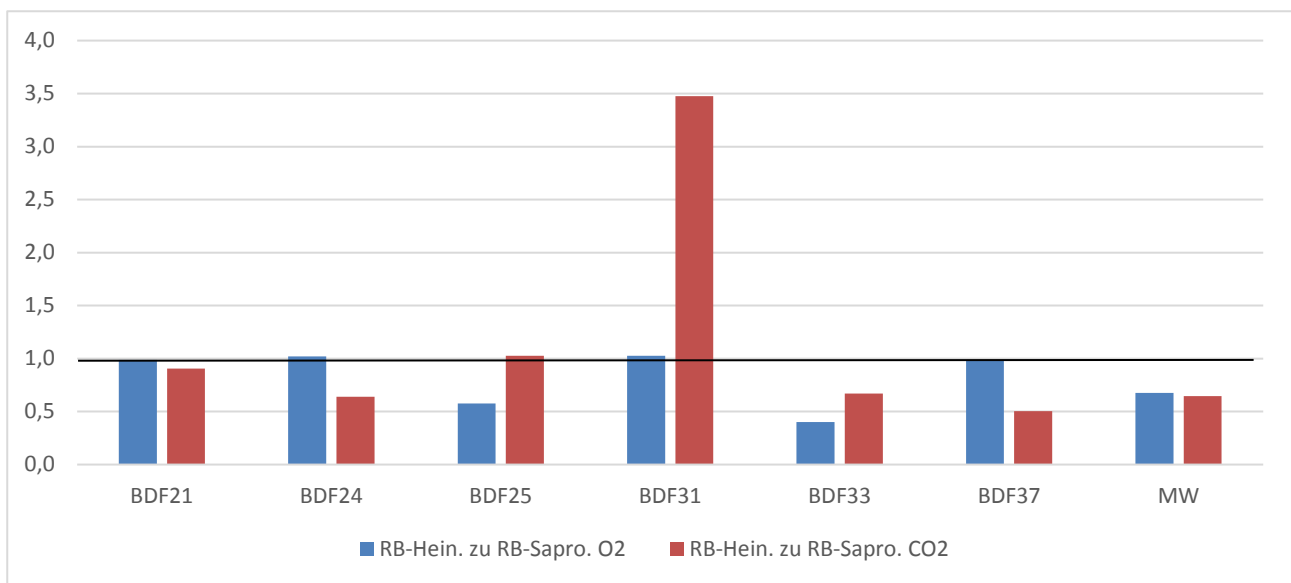


Abbildung 5.2: Zahlenmäßige Verhältnisse der $R_{B-Hein.}$ -Werte zu den $R_{B-Sapr. O_2}$ - und $R_{B-Sapr. CO_2}$ -Werten für die einzelnen Standorte und Mittelwerte. Schwarze Linie symbolisiert gleich hohe Werte.

Da die aufgeführten Methoden zur Bestimmung der mikrobiellen Biomasse und der Basalatmung untereinander hochsignifikant korrelierten, wäre eine künftige Reduzierung des Untersuchungsumfangs grundsätzlich überlegenswert. Zuvor sollten jedoch weiterhin alle Messungen fortgeführt werden um zu überprüfen, ob die signifikanten Korrelationen auch bei den künftigen Untersuchungen gegeben sind und ob die Verhältnisse zur Umrechnung konstant bleiben oder Schwankungen durch äußere klimatische oder bewirtschaftungsbedingte Einflüsse unterliegen.

5.2 Eignung der Indikatoren und Zeigerwerte

Die untersuchten Parameter dienen zunächst zur quantitativen Erfassung der bodenmikrobiologischen Aktivität der BDF-Standorte. Im Labor lassen sich diese ausgewählten Parameter anhand der definierten Methoden relativ einfach bestimmen und liefern somit gut reproduzierbare Werte. Die Bodenmikrobiologie wurde dabei über ihre **Funktion** erfasst, die Mineralisation von Kohlenstoff und Stickstoff, sowie über die **Abundanz** des mikrobiellen Kohlenstoffs und Stickstoffs. Damit wurden die Gesamtgehalte und die Gesamtflüsse quantifiziert, was für den Gesamtzustand einer BDF von

Relevanz ist. Eine Differenzierung der mikrobiellen Biomasse erfolgte jedoch lediglich über die CFE- und SIR-Methoden, wobei die Diversität der mikrobiellen Gesellschaften nicht unterschieden werden konnten. Daher konnten Aussagen zu den mikrobiellen Zusammensetzungen aus Algen, Bakterien, Pilzen, Sporen, Protozoen etc. nicht getroffen werden. Eine qualitative Gruppierung der BDF, wie z. B. bei der Bodenzoologie oder der Vegetationskunde, war somit für die Bodenmikrobiologie nicht möglich.

Die Interpretation der erfassten Parameter erfolgte anhand ihrer in der Literatur beschriebenen Indikatorfunktionen (siehe Unterkapitel 2.2). Schwierig dabei ist, dass die Definition der Einflussfaktoren recht vage ist (z. B. Veränderungen, Stressoren, Gesamtzufuhr, Bodenbearbeitung) und dass sich Änderungen bei diesen Parametern nicht eindeutig den Einflussfaktoren (aus Klima- oder Bewirtschaftungsdaten) zuordnen lassen. Dies liegt zum Teil auch daran, dass bei dem dreijährigen Untersuchungsintervall eine Beprobung nicht unbedingt direkt nach einer Nutzungsänderung oder nach einem klimatischen Extremereignis erfolgte, so dass auch andere Einflüsse den Indikatoreffekt überlagerten.

Die Mittelwerte der untersuchten Parameter, welche aus den Einzelwerten der vier Probenahmestrecken für die gesamte BDF gebildet wurden, zeigten zum Teil hohe Standardabweichungen sowohl im Jahr 2019 als auch in den vorangegangenen Untersuchungsjahren. Diese Standardabweichungen sind in erster Linie nicht als Messunsicherheiten zu betrachten, sondern stellen die Heterogenität der Fläche dar, welche sich teilweise ebenso in den unterschiedlichen Vegetationseinheiten und in der Geländemorphologie widerspiegelt. Insbesondere bei der Einteilung in die Bewertungssysteme (z. B. nach Ad hoc AG-Boden 2005), sowie bei der Beschreibung der zeitlichen Entwicklung, welches nach den jeweiligen Mittelwerten erfolgte, ist zu berücksichtigen, dass die entsprechende Klassifizierung eventuell nur für den Flächendurchschnitt gilt und die Unterschiede innerhalb der BDF nicht abbildet.

6 Zusammenfassung

Die Bodendauerbeobachtung wird in Schleswig-Holstein im Jahr 2019 seit drei Jahrzehnten durchgeführt. Ihr Ziel ist es, einen Beitrag zum nachhaltigen Bodenschutz zu leisten, indem der Bodenzustand über festgelegte Parameter und in regelmäßigen Abständen festgestellt wird und somit Bodenveränderungen aufgrund von Nutzungs- und Klimaänderungen sichtbar gemacht werden. Die Untersuchungen umfassen u.a. bodenchemische (C- und N-Haushalt, Wassergehalt, pH-Wert) und bodenbiologische (Vegetation, Bodenzoologie, Bodenmikrobiologie) Parameter. Als bodenmikrobiologische Kennwerte dienen die mikrobielle Biomasse (mikrobieller Kohlenstoff und -Stickstoff), die mikrobiellen Aktivitäten (Basalatmung und Argininammonifikation) und daraus zusammengesetzte Parameter (mikrobieller Quotient, metabolischer Quotient). Bei der Untersuchung im Jahr 2019 wurden zwölf der insgesamt 37 BDF in Schleswig-Holstein untersucht, von denen sechs Standorte der Grünlandnutzung bzw. Sukzession unterliegen, ein Standort als Ackerfläche und fünf BDF als Forststandorte genutzt werden.

Anhand von Gemeinsamkeiten bei den Messwerten der bodenkundlichen und der bodenmikrobiologischen Untersuchungen wurden die BDF in vier Gruppen eingeteilt: Niedermoor-BDF (BDF25 Landscheide und 33 Hellbachtal), Marschen-BDF (BDF21 Speicherkoog und 37 Hamburger Hallig) sowie Sonderstandorte (BDF01 List/Sylt, 24 Bornhöved und 31 Pinneberg) und Forstflächen. Letztere wurden zudem anhand der Vegetation und der Bodenart unterteilt in: Reinsand-Nadelwald (BDF02 Süderlügum), Lehmsand-Laubwald (BDF07 Pobüller Bauernholz, 32 Hahnheide und 39 Hevenbruch) sowie Lehm-Laubwald (BDF20 Wüstenfelde).

Es zeigte sich, dass nahezu alle Flächen bei der aktuellen Untersuchung sehr hohe Gehalte mikrobieller Biomasse (C_{mic} und Q_{mic}) aufwiesen, welche teilweise auch deutlich höher waren als in den vorangegangenen Untersuchungsjahren. Auch die Effizienz der Mikroorganismen war mit Ausnahme der BDF37 Hamburger Hallig überwiegend hoch bis sehr hoch. Die höchsten Werte der bodenmikrobiologischen Parameter wurden auf den beiden Niedermoor-BDF25 Landscheide, BDF33 Hellbachtal gemessen, gefolgt von den Marschen-BDF21 Speicherkoog, BDF37 Hamburger Hallig. Die Forststandorte hatten im Mittel eine um etwa ein Drittel niedrigere bodenmikrobiologische Aktivität als die Marschen-BDF (BDF21 Speicherkoog, BDF37 Hamburger Hallig). Dabei war der Reinsand-Nadelwald-Standort BDF02 Süderlügum durch die niedrigste und der Lehm-Laubwald durch die höchste Aktivität gekennzeichnet. Die insgesamt niedrigsten mikrobiellen Aktivitäten zeigten die Sonderstandorte-BDF (BDF01 List/Sylt, BDF24 Bornhöved, BDF31 Pinneberg).

Der Einfluss der Bodenbewirtschaftung und der Bewirtschaftungsintensität zeichnete sich durch die insgesamt extensive Bewirtschaftung nur schwach ab. Im Vergleich der mikrobiellen Biomassen und deren Zusammensetzungen insbesondere zwischen den Niedermoor-BDF (BDF25 Landscheide, BDF33 Hellbachtal) zeigte sich, dass die Beweidungsintensität und Dauer eventuell einen Einfluss auf die glucoseaktivierten Mikroorganismen ausüben. Naturbelassene Flächen, insbesondere die Laubwälder (BDF07 Pobüller Bauernholz, BDF20 Wüstenfelde, BDF32 Hahnheide, BDF39 Hevenbruch) und die Marschen (BDF21 Speicherkoog, BDF37 Hamburger Hallig) entwickelten weitgehend ohne Bewirtschaftung sehr hohe mikrobielle Biomassegehalte.

Überregionale Trends in der Bodenmikrobiologie (insbesondere der C_{mic} - und Q_{mic} -Anstieg zum aktuellen Untersuchungsjahr auf nahezu allen BDF) lassen auf klimatische Einflüsse schließen, im Raster der Untersuchungsjahre lassen sich die Zusammenhänge jedoch nur eingeschränkt verifizieren. Lokale Klimaunterschiede zwischen den Standorten zeigten lediglich geringe Einflüsse auf die mikrobiellen Quotienten der glucoseaktivierten mikrobiellen Biomasse ($Q_{mic-SIR}$). Um den Einfluss des Klimas auf die Bodenmikrobiologie besser und gesicherter zu beurteilen, wäre es hilfreich, eine nicht bewirtschaftete BDF im jährlichen Zyklus zu untersuchen. Temperatur- und Niederschlagsveränderungen ließen sich somit besser mit bodenmikrobiologischen Veränderungen korrelieren.

In Bezug auf die Bodenzooologie zeigten sich gegensätzliche Zusammenhänge. An den 2018 bodenzoologisch untersuchten Forststandorten zeigten sich zum Teil starke Abnahmen der Regenwurm- und Kleinringelwurmbundanz gegenüber der Voruntersuchung 2012. Aus bodenmikrobiologischer Sicht zeigte sich jedoch zwischen 2013 und 2019 sowohl in der Humusaufgabe als auch in dem Mineraloberboden eine starke Zunahme der mikrobiellen Biomassegehalte.

Bezugnehmend auf das Ziel der Bodendauerbeobachtung, das rechtzeitige Erkennen von eventuellen Bodengefährdungen, lässt sich anhand der aktuellen bodenmikrobiologischen Untersuchungsergebnisse sagen, dass sich derzeit keine Gefährdungen der Bodenökologie abzeichnen. Die bodenmikrobiologische Aktivität war im aktuellen Untersuchungsjahr durch zum Teil Höchstwerte seit der Erstuntersuchung gekennzeichnet bzw. unterlag dem bisherigen Schwankungsverlauf. Lediglich auf der extensiv beweideten BDF33 Hellbachtal ist seit 2011 eine rückläufige Entwicklung zu erkennen, was weiterhin beobachtet werden sollte.

Tabelle 6.1: Klassifikation, Zeigerverhältnisse und Entwicklungstendenzen der Bodenmikrobiologie sowie ihre Beziehungen zu anderen Standorteigenschaften. Klassifikationsparameter: Biomasse = $C_{mic-CFE}$, Biomasse-Anteil = $Q_{mic-CFE}$, Aktivität pro Biomasse = $Q_{met-CFE}$, Stickstoffverfügbarkeit = ARG.

	BDF01 Sylt, Sonderstandort	BDF21 Speicherkoog, Sukzession	BDF25 Landscheide, Grünland
Klassifikation	Für sandiges Grünland: Biomasse: mittel hoch Biomasse-Anteil: sehr hoch Aktivität pro Biomasse: sehr niedrig	Für bindiges Grünland: Biomasse: mittel hoch Biomasse-Anteil: hoch Aktivität pro Biomasse: niedrig	Für Niedermoor-Grünland: Biomasse: sehr hoch Biomasse-Anteil: hoch Aktivität pro Biomasse: niedrig
Indikatoren und Zeigerverhältnisse	mittlerer Organikgehalt sehr hoher Anteil der Mikroorganismen an der Organik sehr hohe Effizienz der Mikroorganismen sehr geringe Stickstoffverfügbarkeit	viel Organik hoher Anteil der Mikroorganismen an der Organik hohe Effizienz der Mikroorganismen niedrige Stickstoffverfügbarkeit	organischer Boden hoher Anteil der Mikroorganismen an der Organik hohe Effizienz der Mikroorganismen mittel hohe Stickstoffverfügbarkeit
Entwicklungstendenzen	Seit 1999 eher zunehmende Tendenz der mikrobiellen Biomasse und deren Effizienz.	Seit 1999 deutlich zunehmende Tendenz der mikrobiellen Biomasse und deren Effizienz.	Seit 1999 deutlich zunehmende Tendenz der mikrobiellen Biomasse bei schwankender Effizienz.
Beziehungen zu Bodenform und zu abiotischen Standortverhältnissen	Vergleichsweise geringe Aktivität bedingt durch niedrige Ton-, C_{org} - und N_{min} -Gehalte. Dünenstand mit schwacher Bindungskapazität für Wasser und Nährstoffe.	Vergleichsweise hohe Aktivität bedingt durch hohe Ton-, C_{org} , N_{min} -Gehalte sowie durch hohen pH. Lehmstand mit guter Nährstoff- und Wasserverfügbarkeit.	Sehr hohe Aktivität durch höchste Organik- und N_{min} -Gehalte. Vererdeter Torfboden liefert viel Biomasse für den Abbau durch Mikroorganismen.
Beziehungen zu Witterungseinflüssen	Die deutlich wärmeren und feuchteren Vorjahre scheinen mit der Zunahme der mikrobiellen Biomasse verbunden zu sein. Im Vergleich jedoch der niederschlagsärmste Standort.	Die deutlich wärmeren und feuchteren Vorjahre scheinen mit der Zunahme der mikrobiellen Biomasse verbunden zu sein. Im Vergleich eher feuchter Standort.	Die deutlich wärmeren und feuchteren Vorjahre scheinen mit der Zunahme der mikrobiellen Biomasse verbunden zu sein. Im Vergleich eher feuchter und warmer Standort.
Beziehungen zur Bewirtschaftung	Extensive Schafsbeweidung führt dem Boden relativ wenig frische organische Substanz über Tierausscheidungen zu, daher vergleichsweise geringe Aktivität.	Zufuhr frischer organischer Substanz lediglich durch Pflanzenstreu und durch Ausscheidungen von Wildtieren. Daher keine zusätzliche Förderung der Aktivität.	Beweidung mit Stoffeinträgen durch Tierausscheidungen sowie durch Pflegemaßnahmen der Grasnarbe fördern die Aktivität zusätzlich.
Beziehungen zur Vegetationskunde	Geringe Humusakkumulation sowie Rückgang der Stickstoffzahl limitieren die bodenmikrobiologische Aktivität.	Stickstoffreiche und diverse Vegetation trägt zur Nährstoffversorgung bei und fördert die bodenmikrobiologische Entwicklung.	Stickstoffreiche Vegetation mit Leguminosen (Weiß-Klee) fördert das Wachstum der Bodenmikroorganismen.
Beziehungen zur Bodenzoologie	Bodenzoologisch und bodenmikrobiologisch schwach aktiver Standort mit jedoch zunehmender Tendenz.	Eher gegenläufige bodenzoologische und bodenmikrobiologische Entwicklungstendenzen.	Wie die Regenwurm-Biomasse nahm auch die mikrobielle Biomasse über den Untersuchungszeitraum annähernd kontinuierlich zu.

Fortsetzung: Tabelle 6.1

	BDF33 Hellbachtal, Grünland	BDF37 Hamburger Hallig, Grünland	BDF02 Süderlügum, Nadelwald
Klassifikation	Für Niedermoor-Grünland: Biomasse: sehr hoch Biomasse-Anteil: sehr hoch Aktivität pro Biomasse: niedrig	Für bindiges Grünland: Biomasse: sehr hoch Biomasse-Anteil: sehr hoch Aktivität pro Biomasse: hoch	Für sandigen Wald: Biomasse: mittel hoch Biomasse-Anteil: sehr hoch Aktivität pro Biomasse: niedrig
Indikatoren und Zeiger-verhältnisse	extrem viel Organik sehr hoher Anteil der Mikroorga- nismen an der Organik hohe Effizienz der Mikroorganismen niedrige Stickstoffverfügbarkeit	sehr viel Organik sehr hoher Anteil der Mikroorga- nismen an der Organik geringe Effizienz der Mikroorganismen sehr hohe Stickstoffverfügbarkeit	wenig Organik sehr hoher Anteil der Mikroorga- nismen an der Organik hohe Effizienz der Mikroorganismen mittel hohe Stickstoffverfügbarkeit
Entwicklungstendenzen	Zunehmende Tendenz der mikrobiellen Biomasse bei schwankender Effizienz.	Seit 2002 deutlich zunehmende Tendenz der mikrobiellen Biomasse bei schwankender Effizienz.	Seit 1999 eher zunehmende Tendenz der mikrobiellen Biomasse bei schwankender Effizienz.
Beziehungen zu Bodenform und zu abiotischen Standortverhältnissen	Sehr hohe Aktivität durch zweithöchste Organik- und N_{min} -Gehalte. Vererdeter Torfboden liefert viel Biomasse für den Abbau durch Mikroorganismen.	Sehr hohe Aktivität durch höchsten Tongehalt, pH sowie durch sehr hohe Organikgehalte mit hoher Humusqualität. Tonboden mit guter Nährstoffbindung.	Mittlere Aktivität durch geringen Organik- und N_{min} -Gehalt und mittlere Humusqualität. Sandboden mit geringer Bindung für Wasser und Nährstoffe.
Beziehungen zu Witterungseinflüssen	Die deutlich wärmeren und feuchteren Vorjahre scheinen für die Entwicklung der mikrobiellen Biomasse weniger entscheidend zu sein. Im Vergleich eher trockener Standort.	Die deutlich wärmeren und feuchteren Vorjahre scheinen mit der Zunahme der mikrobiellen Biomasse verbunden zu sein. Im Vergleich der niederschlagsreichste Standort.	Die deutlich wärmeren und feuchteren Vorjahre scheinen mit der Zunahme der mikrobiellen Biomasse verbunden zu sein. Im Vergleich ein feuchter und der kühlsste Standort.
Beziehungen zur Bewirtschaftung	Extensive Beweidung mit Stoffeinträgen durch Tierausscheidungen sowie durch Pflegemaßnahmen der Grasnarbe fördern die Aktivität zusätzlich.	Extensive Schafsbeweidung führt dem Boden relativ wenig frische organische Substanz über Tierausscheidungen zu, daher keine zusätzliche Förderung der Aktivität.	Mögliche punktuelle Bodenerwärmung durch erhöhte Sonneneinstrahlung bei Entnahme von Bäumen.
Beziehungen zur Vegetationskunde	Vegetation mit Leguminosen (Weiß-Klee, Rotklee, Sumpf-Hornklee) reichert den Boden mit Stickstoff an und begünstigt die Bodenmikroorganismen.	Unterschiedliche Vegetationseinheiten mit Zeigern für hohe Nährstoffgehalte und hohe Bodenfeuchte. Abnahme der Stickstoffzahl bei zunehmender mikrobieller Biomasse.	Vegetation liefert stickstoffarme und schwer zersetzbare Streu und schränkt somit die Entwicklung der Bodenmikrobiologie ein.
Beziehungen zur Bodenzoologie	Die abnehmende Tendenz der Regenwurm-Biomasse war bis 2006 gegenläufig zu der Zunahme der mikrobiellen Biomasse.	Gegenläufige Tendenz bei der Abundanz der Kleinringelwürmer und der mikrobiellen Biomasse über die letzten zehn Jahre.	Fehlen von mineralbodenbewohnenden Regenwürmern verlangsamt den Transport der Nährstoffe in den Mineralboden u. schränkt das mikrobielle Wachstum ein.

Fortsetzung: Tabelle 6.1

	BDF07 Pobüller Bauernholz, Laubwald	BDF20 Wüstenfelde, Laubwald	BDF32 Hahnheide, Laubwald
Klassifikation	Für sandigen Wald: Biomasse: sehr hoch Biomasse-Anteil: hoch Aktivität pro Biomasse: niedrig	Für lehmigen Wald: Biomasse: sehr hoch Biomasse-Anteil: hoch Aktivität pro Biomasse: sehr niedrig	Für sandigen Wald: Biomasse: hoch Biomasse-Anteil: hoch Aktivität pro Biomasse: sehr niedrig
Indikatoren und Zeiger-verhältnisse	viel Organik hoher Anteil der Mikroorganismen an der Organik hohe Effizienz der Mikroorganismen mittel hohe Stickstoffverfügbarkeit	sehr viel Organik hoher Anteil der Mikroorganismen an der Organik sehr hohe Effizienz der Mikroorganismen niedrige Stickstoffverfügbarkeit	viel Organik hoher Anteil der Mikroorganismen an der Organik sehr hohe Effizienz der Mikroorganismen hohe Stickstoffverfügbarkeit
Entwicklungstendenzen	Seit 1999 deutlich zunehmende Tendenz der mikrobiellen Biomasse und deren Effizienz.	Seit 1999 deutlich zunehmende Tendenz der mikrobiellen Biomasse bei etwa gleichbleibender Effizienz.	Seit 1999 deutlich zunehmende Tendenz des mikrobiellen Biomasseanteils und der Effizienz.
Beziehungen zu Bodenform und zu abiotischen Standortverhältnissen	Sehr hohe Aktivität bei hohem Organikanteil und sehr geringer Humusqualität. Lehmantel im Sandboden erhöht Wasser- und Nährstoffbindung.	Sehr hohe Aktivität durch sehr hohen Organikgehalt und hohen N_{min} -Gehalt. Hoher Tongehalt erhöht Wasser- und Nährstoffbindung.	Sehr hohe Aktivität durch hohen Organikgehalt bei geringer Humusqualität. Lehmantel im Sandboden erhöht Wasser- und Nährstoffbindung.
Beziehungen zu Witterungseinflüssen	Die deutlich wärmeren und feuchteren Vorjahre scheinen mit der Zunahme der mikrobiellen Biomasse verbunden zu sein. Im Vergleich der feuchteste und ein kühler Standort.	Die deutlich wärmeren und feuchteren Vorjahre scheinen mit der Zunahme der mikrobiellen Biomasse verbunden zu sein. Im Vergleich eher kühler und trockener Standort.	Die deutlich wärmeren und feuchteren Vorjahre scheinen mit der Zunahme der mikrobiellen Biomasse verbunden zu sein. Im Vergleich trockener und warmer Standort.
Beziehungen zur Bewirtschaftung	Mögliche punktuelle Bodenerwärmung durch erhöhte Sonneneinstrahlung bei Entnahme von Bäumen.	Mögliche punktuelle Bodenerwärmung durch erhöhte Sonneneinstrahlung bei Entnahme von Bäumen.	Mögliche punktuelle Bodenerwärmung durch erhöhte Sonneneinstrahlung bei Entnahme von Bäumen.
Beziehungen zur Vegetationskunde	Vegetation liefert stickstoffarme und schwer zersetzbare Streu und schränkt somit die Entwicklung der Bodenmikrobiologie ein.	Vegetation liefert vergleichsweise stickstoffreiche und gut zersetzbare Streu, welche die Mikroorganismen mit Nährstoffen versorgt.	Vegetation liefert relativ stickstoffreiche Streu mit engem C_{org}/N_t -Verhältnis.
Beziehungen zur Bodenzoologie	Fehlen von mineralbodenbewohnenden Regenwürmern verlangsamt den Transport der Nährstoffe in den Mineralboden u. schränkt das mikrobielle Wachstum ein.	Mineralbodenbewohnende Regenwurmartens versorgen Mikroorganismen im Mineralboden mit Nährstoffen.	Lediglich streubewohnende Regenwurmartens, so dass die Versorgung der Mikroorganismen mit frischer Organik im Mineralboden gering ist.

Fortsetzung: Tabelle 6.1

	BDF39 Hevenbruch, Laubwald	BDF24 Bornhöved, Acker	BDF31 Pinneberg, Acker
Klassifikation	Für sandigen Wald: Biomasse: sehr hoch Biomasse-Anteil: hoch Aktivität pro Biomasse: niedrig	Für sandiges Grünland: Biomasse: mittel hoch Biomasse-Anteil: hoch Aktivität pro Biomasse: niedrig	Für sandigen Acker: Biomasse: hoch Biomasse-Anteil: hoch Aktivität pro Biomasse: niedrig
Indikatoren und Zeiger-verhältnisse	sehr viel Organik hoher Anteil der Mikroorganismen an der Organik hohe Effizienz der Mikroorganismen mittel hohe Stickstoffverfügbarkeit	wenig Organik hoher Anteil der Mikroorganismen an der Organik hohe Effizienz der Mikroorganismen sehr geringe Stickstoffverfügbarkeit	mittlerer Organikgehalt hoher Anteil der Mikroorganismen an der Organik hohe Effizienz der Mikroorganismen sehr geringe Stickstoffverfügbarkeit
Entwicklungstendenzen	Seit 2007 deutlich zunehmende Tendenz der mikrobiellen Biomasse und deren Effizienz.	Deutlich zunehmende Tendenz der mikrobiellen Biomasse bei schwankender Effizienz.	Seit 2010 deutlich zunehmende Tendenz der mikrobiellen Biomasse und deren Effizienz.
Beziehungen zu Bodenform und zu abiotischen Standortverhältnissen	Sehr hohe Aktivität durch sehr hohen Organikanteil bei mittlerer Humusqualität und hohem N_{min} -Gehalt. Lehmantel im Sandboden erhöht Wasser- und Nährstoffbindung.	Durchschnittliche Aktivität bei geringem Organikgehalt mit annähernd sehr hoher Humusqualität. Lehmantel im Sandboden erhöht Wasser- und Nährstoffbindung.	Hohe Aktivität bei mittlerem Organikgehalt mit hoher Humusqualität. Lehmantel im Sandboden erhöht Wasser- und Nährstoffbindung.
Beziehungen zu Witterungseinflüssen	Die deutlich wärmeren und feuchteren Vorjahre scheinen mit der Zunahme der mikrobiellen Biomasse verbunden zu sein. Im Vergleich einer der trockensten Standorte.	Die deutlich wärmeren und feuchteren Vorjahre scheinen mit der Zunahme der mikrobiellen Biomasse verbunden zu sein. Im Vergleich ein eher kühler, mittelfeuchter Standort.	Die deutlich wärmeren und feuchteren Vorjahre scheinen mit der Zunahme der mikrobiellen Biomasse verbunden zu sein. Im Vergleich der wärmste Standort.
Beziehungen zur Bewirtschaftung	Keine Bewirtschaftung, daher natürliche Entwicklung der Bodenmikrobiologie.	Nutzungsänderung zu mehrjährigem Feldfutterbau mit Leguminosen, sowie die organische Düngung, Pflegemaßnahmen der Grasnarbe und Bodenkalkung förderten die mikrobielle Aktivität deutlich.	Durch Aufteilung der Fläche (ca. ¼ Baumschulacker, ¾ Wiese) und Mistauftrag deutlicher Anstieg der mikrobiellen Biomasse bei gleichzeitiger Reduzierung der Mineraldüngung.
Beziehungen zur Vegetationskunde	Vegetation liefert relativ stickstoffreiche Streu mit engem C_{org}/N_t -Verhältnis.	Grünlandähnliche Vegetation mit Luzernen als stickstofffixierende Leguminosen fördert die Nährstoffversorgung der Bodenmikroorganismen.	Während die Gehölze auf der Baumschulfläche weniger Organik lieferten, war der begrünte Bereich humusreicher und mikrobiologisch aktiver.
Beziehungen zur Bodenzoologie	Mineralbodenbewohnende Regenwurmarten versorgen Mikroorganismen im Mineralboden mit Nährstoffen. gegenläufige Tendenz der Regenwürmer und Mikroorganismen.	Mineralbodenbewohnende Regenwurmarten versorgen Mikroorganismen im Mineralboden mit Nährstoffen und frischer organischer Substanz.	Mineralbodenbewohnende Regenwurmarten versorgen Mikroorganismen im Mineralboden mit Nährstoffen und frischer organischer Substanz.

7 Anhang

7.1 Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1.1: Übersicht der bisherigen Untersuchungen an den BDF in Schleswig-Holstein.	5
Tabelle 2.1 Von der LABO empfohlene und bei der Bodendauerbeobachtung in Schleswig-Holstein eingesetzte Verfahren zur Untersuchung der Bodenbiologie	6
Tabelle 2.2 Untersuchte bodenchemische und -physikalische Parameter	8
Tabelle 2.3 Untersuchungsmethoden der bodenmikrobiologischen Parameter	9
Tabelle 2.4: Im Frühjahr 2019 beprobte BDF mit Nutzung und Datum der Probenahme.	13
Tabelle 3.1: Zusammenfassung der zwölf im Jahr 2019 untersuchten BDF	17
Tabelle 3.2: Temperatur- und Niederschlagsmittelwerte der 15 Monate vor der Probenahme.....	20
Tabelle 3.3: Zusammenfassung der Nutzungs- und Vegetationsformen der zwölf untersuchten BDF	22
Tabelle 3.4: Klima/Witterung und Wasserhaushalt zu verschiedenen Zeiträumen.....	25
Tabelle 3.5: Klima/Witterung und Wasserhaushalt zu verschiedenen Zeiträumen.....	31
Tabelle 3.6: Klima/Witterung und Wasserhaushalt zu verschiedenen Zeiträumen.....	37
Tabelle 3.7: Anbausysteme und Bewirtschaftungsmaßnahmen zu verschiedenen Zeiträumen	38
Tabelle 3.8: Bewirtschaftung seit 1990, jährliche Kennwerte für die BDF25	39
Tabelle 3.9: Bewirtschaftungsmaßnahmen in 2018 und Anfang 2019	40
Tabelle 3.10: Klima/Witterung und Wasserhaushalt zu verschiedenen Zeiträumen.....	43
Tabelle 3.11: Anbausysteme und Bewirtschaftungsmaßnahmen zu verschiedenen Zeiträumen	46
Tabelle 3.12: Bewirtschaftung seit 1990, jährliche Kennwerte für die BDF33	47
Tabelle 3.13: Klima/Witterung und Wasserhaushalt zu verschiedenen Zeiträumen.....	51
Tabelle 3.14: Klima/Witterung und Wasserhaushalt zu verschiedenen Zeiträumen.....	58
Tabelle 3.15: Klima/Witterung und Wasserhaushalt zu verschiedenen Zeiträumen.....	64
Tabelle 3.16: Klima/Witterung und Wasserhaushalt zu verschiedenen Zeiträumen.....	71
Tabelle 3.17: Klima/Witterung und Wasserhaushalt zu verschiedenen Zeiträumen.....	77
Tabelle 3.18: Klima/Witterung und Wasserhaushalt zu verschiedenen Zeiträumen.....	83
Tabelle 3.19: Klima/Witterung und Wasserhaushalt zu verschiedenen Zeiträumen.....	89
Tabelle 3.20: Anbausysteme und Bewirtschaftungsmaßnahmen zu verschiedenen Zeiträumen	91
Tabelle 3.21: Bewirtschaftungsmaßnahmen in 2018 und Anfang 2019	91
Tabelle 3.22: Bewirtschaftung seit 1990, jährliche Kennwerte für die BDF24	92
Tabelle 3.23: Klima/Witterung und Wasserhaushalt zu verschiedenen Zeiträumen.....	96
Tabelle 3.24: Anbausysteme und Bewirtschaftungsmaßnahmen zu verschiedenen Zeiträumen	98
Tabelle 3.25: Bewirtschaftungsform und jährliche Kennwerte einiger Bewirtschaftungsmaßnahmen	99
Tabelle 3.26: Bewirtschaftungsmaßnahmen in 2017 und Anfang 2018	100
Tabelle 4.1: Temperatur und Niederschlag der BDF01 zum Jahreswechsel 2018/2019	104
Tabelle 4.2: Bedingungen während der Probenentnahme der BDF01	105
Tabelle 4.3: Ergebnisse der bodenchemischen Analyse 2019 für die BDF01	106
Tabelle 4.4: Ergebnisse der bodenmikrobiologischen Analyse 2019 für die BDF01.	107
Tabelle 4.5: Vergleich von mikrobiologischen und abiotischen Analyseergebnissen	112
Tabelle 4.6: Temperatur und Niederschlag zum Jahreswechsel 2018/2019 der BDF21	116
Tabelle 4.7: Bedingungen während der Probenentnahme an der BDF21.....	117
Tabelle 4.8: Ergebnisse der bodenchemischen Analyse 2019 für die BDF21	119
Tabelle 4.9: Ergebnisse der bodenmikrobiologischen Analyse 2019 für die BDF21	120
Tabelle 4.10: Vergleich von mikrobiologischen und abiotischen Analyseergebnissen	126
Tabelle 4.11: Temperatur und Niederschlag zum Jahreswechsel 2018/2019 an der BDF25	130
Tabelle 4.12: Bedingungen während der Probenentnahme an der BDF25	131
Tabelle 4.13: Ergebnisse der bodenchemischen Analyse 2019 der BDF25	132

Tabelle 4.14: Ergebnisse der bodenmikrobiologischen Analyse 2019 der BDF25	133
Tabelle 4.15: Vergleich von mikrobiologischen und abiotischen Analyseergebnissen	137
Tabelle 4.16: Temperatur und Niederschlag zum Jahreswechsel 2018/2019 an der BDF33	141
Tabelle 4.17: Bedingungen während der Probenentnahme an der BDF33	142
Tabelle 4.18: Ergebnisse der bodenchemischen Analyse 2019 der BDF33	143
Tabelle 4.19: Ergebnisse der bodenmikrobiologischen Analyse 2019 der BDF33	144
Tabelle 4.20: Vergleich von mikrobiologischen und abiotischen Analyseergebnissen	148
Tabelle 4.21: Temperatur und Niederschlag zum Jahreswechsel 2018/2019 an der BDF37	152
Tabelle 4.22: Bedingungen während der Probenentnahme an der BDF37	153
Tabelle 4.23: Ergebnisse der bodenchemischen Analyse 2019 der BDF37	154
Tabelle 4.24: Ergebnisse der bodenmikrobiologischen Analyse 2019 der BDF37	155
Tabelle 4.25: Vergleich von mikrobiologischen und abiotischen Analyseergebnissen	159
Tabelle 4.26: Temperatur und Niederschlag zum Jahreswechsel 2018/2019 an der BDF02	163
Tabelle 4.27: Bedingungen während der Probenentnahme an der BDF02.	164
Tabelle 4.28: Ergebnisse der bodenchemischen Analyse 2019 der BDF02	166
Tabelle 4.29: Ergebnisse der bodenmikrobiologischen Analyse 2019 der BDF02	167
Tabelle 4.30: Vergleich von mikrobiologischen und abiotischen Analyseergebnissen	173
Tabelle 4.31: Temperatur und Niederschlag zum Jahreswechsel 2018/2019 an der BDF07	177
Tabelle 4.32: Bedingungen während der Probenentnahme an der BDF07	178
Tabelle 4.33: Ergebnisse der bodenchemischen Analyse 2019 der BDF07	180
Tabelle 4.34: Ergebnisse der bodenmikrobiologischen Analyse 2019 der BDF07	181
Tabelle 4.35: Vergleich von mikrobiologischen und abiotischen Analyseergebnissen	187
Tabelle 4.36: Temperatur und Niederschlag zum Jahreswechsel 2018/2019 an der BDF20	191
Tabelle 4.37: Bedingungen während der Probenentnahme an der BDF20	192
Tabelle 4.38: Ergebnisse der bodenchemischen Analyse 2019 der BDF20	194
Tabelle 4.39: Ergebnisse der bodenmikrobiologischen Analyse 2019 der BDF20	195
Tabelle 4.40: Vergleich von mikrobiologischen und abiotischen Analyseergebnissen	201
Tabelle 4.41: Temperatur und Niederschlag zum Jahreswechsel 2018/2019 an der BDF32	204
Tabelle 4.42: Bedingungen während der Probenentnahme an der BDF32	205
Tabelle 4.43: Ergebnisse der bodenchemischen Analyse 2019 der BDF32	207
Tabelle 4.44: Ergebnisse der bodenmikrobiologischen Analyse 2019 der BDF32	208
Tabelle 4.45: Vergleich von mikrobiologischen und abiotischen Analyseergebnissen	214
Tabelle 4.46: Temperatur und Niederschlag zum Jahreswechsel 2018/2019 an der BDF39	218
Tabelle 4.47: Bedingungen während der Probenentnahme an der BDF39	219
Tabelle 4.48: Ergebnisse der bodenchemischen Analyse 2019 der BDF39	221
Tabelle 4.49: Ergebnisse der bodenmikrobiologischen Analyse 2019 der BDF39	222
Tabelle 4.50: Vergleich von mikrobiologischen und abiotischen Analyseergebnissen	228
Tabelle 4.51: Temperatur und Niederschlag zum Jahreswechsel 2018/2019 der BDF24	231
Tabelle 4.52: Bedingungen während der Probenentnahme an der BDF24	232
Tabelle 4.53: Ergebnisse der bodenchemischen Analyse 2019 der BDF24	233
Tabelle 4.54: Ergebnisse der bodenmikrobiologischen Analyse 2019 der BDF24	234
Tabelle 4.55: Vergleich von mikrobiologischen und abiotischen Analyseergebnissen	238
Tabelle 4.56: Temperatur und Niederschlag zum Jahreswechsel 2018/2019 an der BDF31	242
Tabelle 4.57: Bedingungen während der Probenentnahme an der BDF31	243
Tabelle 4.58: Ergebnisse der bodenchemischen Analyse 2019 der BDF31	244
Tabelle 4.59: Ergebnisse der bodenmikrobiologischen Analyse 2019 der BDF31	245
Tabelle 4.60: Vergleich von mikrobiologischen und abiotischen Analyseergebnissen.	249
Tabelle 4.61: Zusammenfassende Darstellung der abiotischen Parameter die im Jahr 2019 auf den untersuchten BDF bestimmt wurden.	255

Tabelle 4.62: Zusammenfassende Darstellung der mikrobiologischen Parameter die im Jahr 2019 auf den untersuchten BDF bestimmt wurden.	260
Tabelle 4.63: Verhältnisse der abiotischen (oben) und bodenmikrobiologischen (unten) Parameter zwischen den Messwerten der organischen Auflagen und den Messwerten der Mineraloberböden.	261
Tabelle 4.64: Korrelationskoeffizienten (r) der mikrobiologischen und der abiotischen Parameter	262
Tabelle 4.65: Korrelationskoeffizienten (r) der mikrobiologischen und der abiotischen Parameter	263
Tabelle 4.66: Korrelationskoeffizienten (r) der mikrobiologischen und der abiotischen Parameter	264
Tabelle 4.67: Lineare Trends der bodenmikrobiologischen und abiotischen Parameter	271
Tabelle 5.1: Korrelationskoeffizienten (r) aus den vier Methoden zur Bestimmung der mikrobiellen Biomasse	279
Tabelle 5.2: Korrelationskoeffizienten (r) aus den drei Methoden zur Bestimmung der mikrobiellen Basalatmung	280
Tabelle 6.1: Klassifikation, Zeigerverhältnisse und Entwicklungstendenzen der Bodenmikrobiologie sowie ihre Beziehungen zu anderen Standorteigenschaften.	284

7.2 Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1.1: Lage der schleswig-holsteinischen Bodendauerbeobachtungsflächen.	3
Abbildung 2.1: Schema der Fläche einer Bodendauerbeobachtungsfläche (BDF).....	14
Abbildung 3.1: Die im Jahr 2019 untersuchten BDF im Ökogramm der Standortfaktoren.	18
Abbildung 3.2: Mittlere Klimabedingungen des Jahres 2018 der zwölf BDF und des Landesdurchschnitts ..	19
Abbildung 3.3: Geländeformen im Umland der BDF01.....	23
Abbildung 3.4: Relief in der Umgebung der BDF.....	24
Abbildung 3.5: Temperatur, Niederschlag und bodenkundliche Feuchtestufe an der BDF01	25
Abbildung 3.6: BDF01 während der Probenentnahme am 10.04.2013	27
Abbildung 3.7: Bodenformen im Umland der BDF21 (Legende im Anhang)	29
Abbildung 3.8: Kalkmarsch aus tidalmarinem Schluff bis Ton über tidal-marinam Sand (Leitprofil)	30
Abbildung 3.9: Relief in der Umgebung der BDF.....	30
Abbildung 3.10: Temperatur, Niederschlag und bodenkundliche Feuchtestufe an der BDF21	31
Abbildung 3.11: Grundwasserganglinien für die Jahre 2013 - 2017 (grau), 2018 (rot) sowie 1991-2018 (schwarz)	32
Abbildung 3.12: BDF21 bei der Probenentnahme am 24.03.2011	33
Abbildung 3.13: Bodenformen im Umland der BDF25 (Legende im Anhang)	35
Abbildung 3.14: Relief in der Umgebung der BDF.....	36
Abbildung 3.15: Temperatur, Niederschlag und bodenkundliche Feuchtestufe an der BDF25	37
Abbildung 3.16: Grundwasserganglinien für die Jahre 2013 - 2017 (grau), 2018 (rot) sowie 1991-2018 (schwarz)	38
Abbildung 3.17: Blick auf die BDF während der Probenentnahme vom 07.03.2013.....	41
Abbildung 3.18: Bodenformen im Umland der BDF33 (Legende im Anhang)	42
Abbildung 3.19: teilweise vererdetes, mächtiges Niedermoor aus Niedermoortorf (Leitprofil).....	43
Abbildung 3.20: Relief in der Umgebung der BDF.....	44
Abbildung 3.21: Grundwasserganglinien für die Jahre 2013 - 2017 (grau), 2018 (rot) sowie 1991-2018 (schwarz)	44
Abbildung 3.22: Temperatur, Niederschlag und bodenkundliche Feuchtestufe an der BDF33	45
Abbildung 3.23: Blick auf die BDF während der Probenentnahme vom 04.04.2013.....	45
Abbildung 3.24: Bodenformen im Umland der BDF33 (Legende im Anhang)	49
Abbildung 3.25: Rohmarsch aus überwiegend schluffig-tonigen, holozänen, marinen Sedimenten (Leitprofil)	49
Abbildung 3.26: Relief in der Umgebung der BDF.....	50
Abbildung 3.27: Grundwasserganglinien für die Jahre 2013 - 2017 (grau), 2018 (rot) sowie 1991-2018 (schwarz)	51
Abbildung 3.29: Temperatur, Niederschlag und bodenkundliche Feuchtestufe an der BDF37	52
Abbildung 3.30: Blick auf die BDF während der Probenentnahme vom 08.04.2013.....	52
Abbildung 3.31: tief umgebrochener Podsol aus holozänen Flugsanden (Leitprofil)	57
Abbildung 3.32: Relief in der Umgebung der BDF.....	57
Abbildung 3.33: Temperatur, Niederschlag und bodenkundliche Feuchtestufe an der BDF02	58
Abbildung 3.34: Grundwasserganglinien für die Jahre 2013 - 2017 (grau), 2018 (rot) sowie 1991-2018 (schwarz)	59
Abbildung 3.35: BDF02 bei der Probenentnahme für bodenmikro-biologische Untersuchungen am 15.04.2013.....	61
Abbildung 3.36: Bodenformen im Umland der BDF07 (Legende im Anhang)	62
Abbildung 3.37: Pseudogley-Podsol aus weichseleiszeitlichen Sandersanden über saalezeitlichem Geschiebelehm (Leitprofil)	63
Abbildung 3.38: Relief in der Umgebung der BDF.....	64

Abbildung 3.39: Temperatur, Niederschlag und bodenkundliche Feuchtestufe an der BDF07	65
Abbildung 3.40: Grundwasserganglinien für die Jahre 2013 - 2017 (grau), 2018 (rot) sowie 1991-2018 (schwarz).....	65
Abbildung 3.41: BDF07 bei der Probenentnahme am 22.04.2013	66
Abbildung 3.42: Bodenformen im Umland der BDF20 (Legende im Anhang)	69
Abbildung 3.43: Parabraunerde-Pseudogley aus flacher sandig-lehmiger Fließerde über Geschiebesand, -lehm und -mergel (Leitprofil)	70
Abbildung 3.44: Temperatur, Niederschlag und bodenkundliche Feuchtestufe an der BDF20	70
Abbildung 3.45: Relief in der Umgebung der BDF	71
Abbildung 3.46: BDF20 am 18.04.2013, überall die Spuren der Entnahme von großen Buchen	72
Abbildung 3.47: Bodenformen im Umland der BDF32 (Legende im Anhang)	75
Abbildung 3.48: Podsol-Braunerde aus sandiger Fließerde über Geschiebesand (Leitprofil)	76
Abbildung 3.49: Relief in der Umgebung der BDF.....	76
Abbildung 3.50: Der letzte Baum wurde bereits vor einiger Zeit gefällt.....	77
Abbildung 3.51: Temperatur, Niederschlag und bodenkundliche Feuchtestufe an der BDF32	78
Abbildung 3.52: Lage der BDF (rotes Quadrat) im Gelände (Höhenkarte von 32-68 m über NN).....	81
Abbildung 3.53: Pseudogley-Braunerde aus sandiger Fließerde über Geschiebelehm und -mergel (Leitprofil)	82
Abbildung 3.54: Relief in der Umgebung der BDF.....	82
Abbildung 3.55: Temperatur, Niederschlag und bodenkundliche Feuchtestufe an der BDF39	83
Abbildung 3.56: BDF39 bei der Probenentnahme am 17.04.2013	84
Abbildung 3.57: Bodenformen im Umland der BDF24 (Legende im Anhang)	87
Abbildung 3.58: Relief in der Umgebung der BDF.....	88
Abbildung 3.59: typische Braunerde aus Geschiebedecksand über Schmelzwassersand (Leitprofil)	88
Abbildung 3.60: Temperatur, Niederschlag und bodenkundliche Feuchtestufe an der BDF24	89
Abbildung 3.61: Blick auf die BDF während der Probenentnahme vom 09.04.2013.....	90
Abbildung 3.62: Bodenformen im Umland der BDF31 (Legende im Anhang).	94
Abbildung 3.63 Relief in der Umgebung der BDF.....	95
Abbildung 3.64: Temperatur, Niederschlag und bodenkundliche Feuchtestufe an der BDF31.	96
Abbildung 3.65: Grundwasserganglinien für die Jahre 2013 - 2017 (grau), 2018 (rot) sowie 1991-2018 (schwarz).....	97
Abbildung 3.66: BDF während der Probenentnahme vom 02.03.2016.	101
Abbildung 4.1: Lageplan der BDF01 (List/Sylt) und Strecken für die Probenahme für die bodenchemischen und bodenmikrobiologischen Untersuchungen 2019.....	104
Abbildung 4.2: Ergebnisse der BDF01 (organische Auflage) der gesamten Untersuchungsjahre	109
Abbildung 4.3: Ergebnisse der BDF01 (Mineraloberboden) der gesamten Untersuchungsjahre.....	109
Abbildung 4.4: Ergebnisse der mikrobiellen Aktivität der BDF01 (organische Auflage) der gesamten Untersuchungsjahre	110
Abbildung 4.5: Ergebnisse der mikrobiellen Aktivität der BDF01 (Mineraloberboden) der gesamten Untersuchungsjahre	110
Abbildung 4.6: Darstellung des löslichen Stickstoffs (N_{min}) und der Argininammonifikation (ARG) der gesamten Untersuchungsjahre der BDF01 (organische Auflage).	111
Abbildung 4.7: Darstellung des löslichen Stickstoffs (N_{min}) und der Argininammonifikation (ARG) der gesamten Untersuchungsjahre der BDF01 (Mineraloberboden).....	111
Abbildung 4.8: Lage der Probenentnahmestellen an der BDF21 (21.1-4).	116
Abbildung 4.9: Ergebnisse der BDF21 (organische Auflage: 2013 Ofh, ab 2016 Ofh&Ah) der gesamten Untersuchungsjahre	123
Abbildung 4.10: Ergebnisse der BDF21 (Mineraloberboden) der gesamten Untersuchungsjahre.....	123

Abbildung 4.11: Ergebnisse der mikrobiellen Aktivität der BDF21 (organische Auflage: 2013 Ofh, ab 2016 Ofh&Ah) der gesamten Untersuchungsjahre.....	124
Abbildung 4.12: Ergebnisse der mikrobiellen Aktivität der BDF21 (Mineraloberboden) der gesamten Untersuchungsjahre	124
Abbildung 4.13: Darstellung des löslichen Stickstoffs (N_{min}) und der Argininammonifikation (ARG) der gesamten Untersuchungsjahre der BDF21 (organische Auflage: 2013 Ofh, ab 2016 Ofh&Ah).....	125
Abbildung 4.14: Darstellung des löslichen Stickstoffs (N_{min}) und der Argininammonifikation (ARG) der gesamten Untersuchungsjahre der BDF21 (Mineraloberboden).....	125
Abbildung 4.15: Lage der Probenentnahmestellen an der BDF25 (25.1-4).	130
Abbildung 4.16: Ergebnisse der BDF25 der gesamten Untersuchungsjahre.....	134
Abbildung 4.17: Ergebnisse der mikrobiellen Aktivität der BDF25 der gesamten Untersuchungsjahre.	136
Abbildung 4.18: Darstellung des löslichen Stickstoffs (N_{min}) und der Argininammonifikation (ARG) der gesamten Untersuchungsjahre der BDF25.....	136
Abbildung 4.19: Lage der Probenentnahmestellen an der BDF33 (33.1-4).	141
Abbildung 4.20: Ergebnisse der BDF33 der gesamten Untersuchungsjahre.....	145
Abbildung 4.21: Ergebnisse der mikrobiellen Aktivität der BDF33 der gesamten Untersuchungsjahre	146
Abbildung 4.22: Darstellung des löslichen Stickstoffs (N_{min}) und der Argininammonifikation (ARG) der gesamten Untersuchungsjahre der BDF33.....	147
Abbildung 4.23: Lage der Probenentnahmestellen an der BDF37 (37.1-4).	152
Abbildung 4.24: Ergebnisse der BDF37 der gesamten Untersuchungsjahre.....	156
Abbildung 4.25: Ergebnisse der mikrobiellen Aktivität der BDF37 der gesamten Untersuchungsjahre	158
Abbildung 4.26: Darstellung des löslichen Stickstoffs (N_{min}) und der Argininammonifikation (ARG) der gesamten Untersuchungsjahre der BDF37.....	158
Abbildung 4.27: Lage der Probenentnahmestellen an der BDF02 (02.1-4).	163
Abbildung 4.28: Ergebnisse der BDF02 (organische Auflage) der gesamten Untersuchungsjahre	170
Abbildung 4.29: Ergebnisse der BDF02 (Mineraloberboden) der gesamten Untersuchungsjahre.....	170
Abbildung 4.30: Ergebnisse der mikrobiellen Aktivität der BDF02 (organische Auflage) der gesamten Untersuchungsjahre	171
Abbildung 4.31: Ergebnisse der mikrobiellen Aktivität der BDF02 (Mineraloberboden) der gesamten Untersuchungsjahre	171
Abbildung 4.32: Darstellung des löslichen Stickstoffs (N_{min}) und der Argininammonifikation (ARG) der gesamten Untersuchungsjahre der BDF02 (organische Auflage).....	172
Abbildung 4.33: Darstellung des löslichen Stickstoffs (N_{min}) und der Argininammonifikation (ARG) der gesamten Untersuchungsjahre der BDF02 (Mineraloberboden).....	172
Abbildung 4.34: Lage der Probenentnahmestellen an der BDF07 (07.1-4).	177
Abbildung 4.35: Ergebnisse der BDF07 (organische Auflage) der gesamten Untersuchungsjahre	184
Abbildung 4.36: Ergebnisse der BDF07 (Mineraloberboden) der gesamten Untersuchungsjahre.....	184
Abbildung 4.37: Ergebnisse der mikrobiellen Aktivität der BDF07 (organische Auflage) der gesamten Untersuchungsjahre	185
Abbildung 4.38: Ergebnisse der mikrobiellen Aktivität der BDF07 (Mineraloberboden) der gesamten Untersuchungsjahre	185
Abbildung 4.39: Darstellung des löslichen Stickstoffs (N_{min}) und der Argininammonifikation (ARG) der gesamten Untersuchungsjahre der BDF07 (organische Auflage).....	186
Abbildung 4.40: Darstellung des löslichen Stickstoffs (N_{min}) und der Argininammonifikation (ARG) der gesamten Untersuchungsjahre der BDF07 (Mineraloberboden).....	186
Abbildung 4.41: Lage der Probenentnahmestellen an der BDF20 (20.1-4).	191
Abbildung 4.42: Ergebnisse der BDF20 (organische Auflage) der gesamten Untersuchungsjahre	198
Abbildung 4.43: Ergebnisse der BDF20 (Mineraloberboden) der gesamten Untersuchungsjahre.....	198

Abbildung 4.44: Ergebnisse der mikrobiellen Aktivität der BDF20 (organische Auflage) der gesamten Untersuchungsjahre	199
Abbildung 4.45: Ergebnisse der mikrobiellen Aktivität der BDF20 (Mineraloberboden) der gesamten Untersuchungsjahre	199
Abbildung 4.46: Darstellung des löslichen Stickstoffs (N_{\min}) und der Argininammonifikation (ARG) der gesamten Untersuchungsjahre der BDF20 (organische Auflage).....	200
Abbildung 4.47: Darstellung des löslichen Stickstoffs (N_{\min}) und der Argininammonifikation (ARG) der gesamten Untersuchungsjahre der BDF20 (Mineraloberboden).....	200
Abbildung 4.48: Lage der Probenentnahmestellen an der BDF32 (32.1-4).	204
Abbildung 4.49: Ergebnisse der BDF32 (organische Auflage) der gesamten Untersuchungsjahre.	211
Abbildung 4.50: Ergebnisse der BDF32 (Mineraloberboden) der gesamten Untersuchungsjahre.....	211
Abbildung 4.51: Ergebnisse der mikrobiellen Aktivität der BDF32 (organische Auflage) der gesamten Untersuchungsjahre	212
Abbildung 4.52: Ergebnisse der mikrobiellen Aktivität der BDF32 (Mineraloberboden) der gesamten Untersuchungsjahre.	212
Abbildung 4.53: Darstellung des löslichen Stickstoffs (N_{\min}) und der Argininammonifikation (ARG) der gesamten Untersuchungsjahre der BDF32 (organische Auflage).....	213
Abbildung 4.54: Darstellung des löslichen Stickstoffs (N_{\min}) und der Argininammonifikation (ARG) der gesamten Untersuchungsjahre der BDF32 (Mineraloberboden).....	213
Abbildung 4.55: Lage der Probenentnahmestellen an der BDF39 (39.1-4).	218
Abbildung 4.56: Ergebnisse der BDF39 (organische Auflage) der gesamten Untersuchungsjahre	225
Abbildung 4.57: Ergebnisse der BDF39 (Mineraloberboden) der gesamten Untersuchungsjahre.....	225
Abbildung 4.58: Ergebnisse der mikrobiellen Aktivität der BDF39 (organische Auflage) der gesamten Untersuchungsjahre	226
Abbildung 4.59: Ergebnisse der mikrobiellen Aktivität der BDF39 (Mineraloberboden) der gesamten Untersuchungsjahre	226
Abbildung 4.60: Darstellung des löslichen Stickstoffs (N_{\min}) und der Argininammonifikation (ARG) der gesamten Untersuchungsjahre der BDF39 (organische Auflage).....	227
Abbildung 4.61: Darstellung des löslichen Stickstoffs (N_{\min}) und der Argininammonifikation (ARG) der gesamten Untersuchungsjahre der BDF39 (Mineraloberboden).....	227
Abbildung 4.62: Lage der Probenentnahmestellen an der BDF24 (24.1-4).	231
Abbildung 4.63: Ergebnisse der BDF24 der gesamten Untersuchungsjahre.....	236
Abbildung 4.64: Ergebnisse der mikrobiellen Aktivität der BDF24 der gesamten Untersuchungsjahre	237
Abbildung 4.65: Darstellung des löslichen Stickstoffs (N_{\min}) und der Argininammonifikation (ARG) der gesamten Untersuchungsjahre der BDF24.....	237
Abbildung 4.66: Lage der Probenentnahmestellen an der BDF31 (31.1-4).	242
Abbildung 4.67: Ergebnisse der BDF31 der gesamten Untersuchungsjahre.....	246
Abbildung 4.68: Ergebnisse der mikrobiellen Aktivität der BDF31 der gesamten Untersuchungsjahre	248
Abbildung 4.69: Darstellung des löslichen Stickstoffs (N_{\min}) und der Argininammonifikation (ARG) der gesamten Untersuchungsjahre der BDF31.....	248
Abbildung 4.70: Vergleich der Untersuchungsergebnisse der im Jahr 2019 untersuchten BDF	265
Abbildung 4.71: Vergleich der Untersuchungsergebnisse der im Jahr 2019 untersuchten BDF	265
Abbildung 4.72: Vergleich der Untersuchungsergebnisse der im Jahr 2019 untersuchten BDF	266
Abbildung 4.73: Vergleich der Untersuchungsergebnisse der im Jahr 2019 untersuchten BDF	266
Abbildung 4.74: Vergleich der Untersuchungsergebnisse der im Jahr 2019 untersuchten BDF	267
Abbildung 4.75: Vergleich der Untersuchungsergebnisse der im Jahr 2019 untersuchten BDF	267
Abbildung 4.76: Mikrobielle Quotienten in Abhängigkeit von den Vorjahrestemperaturen 2018.	272
Abbildung 4.77: Mikrobielle Quotienten in Abhängigkeit von den Vorjahresniederschlägen 2018.....	273
Abbildung 4.78: Mikrobielle Quotienten in Abhängigkeit von den bodenkundlichen Feuchtestufen 2018.	274

Abbildung 4.79: Mikrobielle Biomassegehalte in Abhängigkeit von den Abundanzen der Regen- und Kleinringelwürmer.....	277
Abbildung 5.1: Zahlenmäßige Verhältnisse der $C_{mic-CFE}$ -Gehalte zu den $C_{mic-Hein.-}$, $C_{mic-Sapro. O_2-}$ und $C_{mic-Sapro. CO_2-}$ Gehalten für die einzelnen Standorte und Mittelwerte.....	279
Abbildung 5.2: Zahlenmäßige Verhältnisse der $R_{B-Hein.-}$ -Werte zu den $R_{B-Sapro O_2-}$ und $R_{B-Sapro CO_2-}$ -Werten für die einzelnen Standorte und Mittelwerte.	280

7.3 Literaturverzeichnis

- AD-HOC-ARBEITSGRUPPE BODEN.** 2005. Bodenkundliche Kartieranleitung (KA 5). 5. Auflage 2005. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart. S. 367, 144 - 148, 309
- ALEF, K. & D. KLEINER.** 1986. Arginine ammonification, a simple method to estimate microbial activity potentials in soils. *Soil Biol. Biochem.*, **18**: 233-235.
- ANDERSON, J. P. E. & K. H. DOMSCH.** 1978. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil Biol. Biochem.*, **10** (3): 215-221.
- ANDERSON, J. P. E. & K. H. DOMSCH.** 1990. Application of eco-physiological quotients (qCO₂ and qD) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. *Soil Biology & Biochemistry*, **22**: 251-255.
- ANDERSON, T.-H.** 2003. Mikrobial eco-physiological indicators to asses soil quality. *Agr. Ecosyst. Environ.*, **98** (1): 285-293.
- BARTH, N., BRANDTNER, W., CORDSEN, E., DANN, T., EMMERICH, K.-H., FELDHAUS, D., KLEEFISCH, B., SCHILLING, B. & UTERMANN, J.** 2000. 9152: Boden-Dauerbeobachtung, Einrichtung und Betrieb von Bodendauerbeobachtungsflächen. In: ROSENKRANZ, D., BACHMANN, G., KÖNIG, W. & EINSELE, G. (eds.) Bodenschutz, Ergänzbare Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser. Berlin: Erich Schmidt Verlag.
- BODSCHG.** 1998. Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz -BBodSchG).
- BEYLICH, A., G. BROLL, U. GRAEFE, H. HÖPER, J. RÖMBKE, A. RUF, B.-M. WILKE.** 2005. Biologische Charakterisierung von Böden: Ansatz zur Bewertung des Bodens als Lebensraum für Bodenorganismen im Rahmen von Planungsprozessen. BVB-Materialien **13**, 78 S.
- BEYLICH, A., HÖPER, H., RUF, A., WILKE, B.-M.** 2005. Bewertung des Bodens als Lebensraum für Bodenorganismen im Rahmen von Planungsprozessen. *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft* **107**: 183-184.
- BEYLICH, A. & U. GRAEFE.** 2009. Investigations of annelids at soil monitoring sites in Northern Germany: reference ranges and time-series data. *Soil Organisms*, **81**: 175–196.
- BEYLICH, A. & U. GRAEFE.** 2010. Regenwürmer und Kleinringelwürmer als Bioindikatoren im Bodenmonitoring. *Gefahrst. Reinhalt. L.*, **70** (4): 119-123.
- BEYLICH, A. & U. GRAEFE.** 2013. Gesamtgutachten zu den bodenzoologischen Untersuchungen an Boden-Dauerbeobachtungsflächen in Schleswig-Holstein für den Zeitraum 1992 bis 2012. Abschlussbericht im Auftrag des Landesamtes für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein. 204 S.
- BGR.** 2007. Gehalte an organischer Substanz in Oberböden Deutschlands - Bericht über länderübergreifende Auswertungen von Punktinformationen im FISBo BGR.
- BROOKES, P. C., LANDMAN, A. & PRUDEN, G.** 1985. Chloroform fumigation and release of soil N: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass N in soil. *Soil. Biol. Biochem.*, **17**: 837 - 42.
- DIERSCHKE, H.** 1989. Symphänologische Aufnahme- und Bestimmungsschlüssel für Blütenpflanzen und ihre Gesellschaften in Mitteleuropa. *Tuexenia*, **9**: 477-484.
- DILLY, O.** 2003. Regulation of the respiratory quotient of soil microbiota by availability of nutrients. *FEMS Microbiol. Ecol.* **43** (3): 375-381

- DIN 18121-1:1998-04.** 1998. Untersuchung von Bodenproben - Wassergehalt - Teil 1: Bestimmung durch Ofentrocknung.
- DIN 19737:2001-04.** 2001. Bodenbeschaffenheit - Laborverfahren zur Bestimmung der mikrobiellen Bodenatmung.
- DIN EN 16168:2012-11.** 2012. Schlamm, behandelter Bioabfall und Boden - Bestimmung des Gesamt-Stickstoffgehalts mittels trockener Verbrennung.
- DIN EN ISO 11272:2017-07.** 2017. Bodenbeschaffenheit - Bestimmung der Trockenrohdichte.
- DIN EN ISO 11461:2014-07.** 2014. Bodenbeschaffenheit - Bestimmung des Wassergehalts des Bodens als Volumenanteil mittels Stechzylinder - Gravimetrisches Verfahren.
- DIN EN ISO 14240-1:2011-09.** 2011. Bodenbeschaffenheit - Bestimmung der mikrobiellen Biomasse von Böden - Teil 1: Substrat-induziertes Respirationsverfahren.
- DIN EN ISO 14240-2:2011-09.** 2011. Bodenbeschaffenheit - Bestimmung der mikrobiellen Biomasse von Böden - Teil 2: Fumigations-Extraktionsverfahren.
- DIN EN ISO 16072:2011-09.** 2011. Bodenbeschaffenheit - Laborverfahren zur Bestimmung der mikrobiellen Bodenatmung.
- DIN EN ISO 23611-1:2011-09.** 2011. Bodenbeschaffenheit - Probenahme von Wirbellosen im Boden - Teil 1: Handauslese und Formalinextraktion von Regenwürmern.
- DIN ISO 10390:2005-12.** 2005. Bodenbeschaffenheit - Bestimmung des pH-Wertes.
- DIN ISO 10694:1996-08.** 1996. Bodenbeschaffenheit - Bestimmung von organischem Kohlenstoff und Gesamtkohlenstoff nach trockener Verbrennung (Elementaranalyse).
- DIN ISO 13878:1998-11.** 1998. Bodenbeschaffenheit - Bestimmung des Gesamt-Stickstoffs durch trockene Verbrennung (Elementaranalyse).
- DIN ISO 17155:2013-12.** 2013. Bodenbeschaffenheit - Bestimmung der Abundanz und Aktivität der Bodenmikroflora mit Hilfe von Atmungskurven.
- DIN ISO 23611-3:2007-12.** 2007. Bodenbeschaffenheit - Probenahme von Wirbellosen im Boden - Teil 3: Probenahme und Bodenextraktion von Enchytraeen
- DOMSCH, K.H.** 1962. Bodenatmung. Sammelbericht über Methoden und Ergebnisse. Zbl. Bakt. II. Abt. **116** (1): 33-78.
- DUNGER, W. & FIEDLER, H. J.** 1997. Methoden der Bodenbiologie. Stuttgart, Gustav Fischer Verlag.
- GRAEFE, U.** 1991. Ein Enchyträentest zur Bestimmung der Säure- und Metalltoxizität im Boden. Mitt. Dtsch. Bodenk. Ges. **66**: 487-490.
- GRAEFE, U.** 1993. Die Gliederung von Zersetzergesellschaften für die standortsökologische Ansprache. Mitt. Dtsch. Bodenkdl. Ges., **69**: 95-98.
- HEINEMEYER, O., H. INSAM, E. A. KAISER & G. WALENZIK.** 1989. Soil microbial biomass and respiration measurements: An automated technique based on infra-red gas analysis. Plant Soil, **116**: 191-195.
- HÖPER, H., KLEEFISCH, B.** 2001. Untersuchung bodenbiologischer Parameter im Rahmen der Boden-Dauerbeobachtung in Niedersachsen, Bodenbiologische Referenzwerte und Zeitreihen. Arbeitshefte Boden. Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung.

- JÖRGENSEN, R. G.** 1995. Die quantitative Bestimmung der mikrobiellen Biomasse in Böden mit der Chloroform-Fumigations-Extraktions-Methode. Gött. Bodenkdl. Ber. **104**: 1 - 229.
- LLUR.** 2007. Ergebnisbericht über bodenmikrobiologische Untersuchungen an acht Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF) in Schleswig-Holstein für das Jahr 2007.
- LLUR.** 2009. Orientierende Messungen von Stickstoffdioxid und Benzol 2007 - 2008.
- LLUR.** 2010. Atmosphärische Stoffeinträge in Schleswig-Holstein 2009.
- LLUR.** 2012. Bodenmikrobiologische Untersuchungen an 20 Boden-Dauerbeobachtungsflächen in Schleswig-Holstein im Jahr 2011.
- LLUR.** 2014. 25 Jahre Bodendauerbeobachtung in Schleswig Holstein.
- LLUR.** 2016. Bodenmikrobiologische Untersuchungen an 12 Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF) in Schleswig-Holstein im Jahr 2016.
- LONDO, G.** 1975. De decimale schaal voor vegetatiekundige opnamen van permanente kwadraten. *Gorteria*, **7**: 101–106.
- MARTENS, R.** 1987. Estimation of microbial biomass in soil by the respiration method: Importance of soil pH and flushing methods for the measurement of respired CO₂. *Soil Biol. Biochem.*, **19** (1): 77-81.
- MEINCKE, M., E. BOCK, D. KASTRAU & K. M.H.** 1992. Nitrite oxidoreductase from *Nitrobacter hamburgensis*: redox center and their catalytic role. *Arch. Microbiol.*, **158**: 572 - 578.
- OTTOW, J.C.G.** 2011. Mikrobiologie von Böden - Biodiversität, Ökophysiologie und Metagenomik. Berlin Heidelberg: Springer Verlag.
- QUIRIN, M. & C. EMMERLING.** 2004. Gesamtgutachten zu bodenmikrobiologischen Untersuchungen an den BDF in Schleswig-Holstein im Zeitraum von 1995 bis 2002.
- SCHLICHTING, E., H. BLUME & K. STAHR.** 1995. Bodenkundliches Praktikum. Blackwell Wissenschaftsverlag, Berlin.
- TIGGES, R.** 2017. Bodenökologische Charakterisierung einer Acker-Wechselwirtschaft in Schleswig-Holstein (BDF24 "Bornhöved"). Unveröffentlichte Masterarbeit am Institut für Bodenkunde der Universität Hamburg.
- TISCHER, S.** 2006. Bodenmikrobiologische Untersuchungen an 12 Boden-Dauerbeobachtungsflächen in Schleswig-Holstein im Jahr 2006.
- VANCE, E. D., P. C. BROOKES & D. S. JENKINSON.** 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biol. Biochem.*, **19** (6): 703-707.
- VDLUFA.** 1991. A 6.1.2.1 Bestimmung von Ammonium-Stickstoff - 3. Teillieferung 2002. VDLUFA Methodenbuch Band I Die Untersuchung von Böden. Darmstadt: VDLUFA-Verlag.
- WOŁOSZCZYK, P.** 2019. Integrierte Verfahren zur ökologischen Bewertung schleswig-holsteinischer Boden-Dauerbeobachtungsflächen unter besonderer Berücksichtigung mikrobiologischer Größen. *Hamburger Bodenkundliche Arbeiten*, **97**: 1-147.

7.4 Glossar

Nachfolgend finden sich kurze Erklärungen zu den im Bericht häufig vorkommenden Begriffen. Die Erklärungen sind nicht als allgemeingültige Definitionen zu betrachten, sondern in dem spezifischen Kontext dieses Berichtes zu sehen.

Arginin-Ammonifikation: Mineralisation von Arginin als stickstoffreiche und leicht verwertbare organische Verbindung. Anzeige für die Aktivität der Mikroorganismen.

Bewirtschaftung: Jegliche Nutzung eines Bodens zur Gewinnung natürlicher Erzeugnisse.

Bodendauerbeobachtung: Systematische Bodenuntersuchungen auf ausgewiesenen Flächen zur Erfassung langfristiger Veränderungen.

Düngung: Zufuhr von Nährstoffen durch Aufbringen von organischen oder mineralischen Substanzen zur Steigerung der Bodenfruchtbarkeit.

Gehalt: Konzentration eines Stoffes bezogen auf das Trockengewicht des Bodens oder auf Fläche.

Hauptvegetationsperiode: Umfasst hier den Zeitraum Mai bis Oktober, in welchem der Großteil der Vegetation durch die klimatischen Bedingungen das stärkste Wachstum erfährt.

Humus: Gesamtheit der abgestorbenen pflanzlichen und tierischen Bestandteile oberhalb des Mineralbodens (Humusauflage bzw. organische Auflage) bzw. innerhalb des Mineralbodens (Mineralbodenhumus).

Indikator: Ein gemessener Parameter, der auf bestimmte nicht direkt messbare Einflüsse oder Zustände schließen lässt.

Kleinringelwürmer: Sammelbegriff für Vertreter mehrerer Familien der Ringelwürmer, die zur Mesofauna gehören. Hier überwiegend Vertreter der Enchytraeiden (Beylich und Graefe, 2012).

Mikroorganismen: Gesamtheit der Mikroflora und -fauna im Boden. Umfasst die auto- und heterotrophen Organismen.

Organischer Kohlenstoff: Kohlenstoff, welcher durch biologische Prozesse der Flora und Fauna in organischer Substanz gebunden wurde. Macht etwa 58 % der Humusmasse aus.

Regenwürmer: Eine Familie innerhalb der Ringelwürmer, welcher zur Makrofauna des Bodens gehört (Beylich und Graefe, 2012).

Respiration: Freisetzung von CO₂ durch den Stoffwechsel der Mikroorganismen. Anzeige für die Mineralisation des organischen Kohlenstoffs und für die Aktivität der Mikroorganismen.

Signifikanz: Statistische Größe, bei der ein Zusammenhang zweier Parameter nicht als zufällig erachtet wird.

Substratinduzierte Respiration: Respiration nach Zugabe von Glucose als leicht verwertbare Kohlenstoffverbindung. Dient zur Berechnung der aktiven mikrobiellen Biomasse.

Vegetationseinheit: Pflanzengesellschaft, welche an die jeweiligen Standortverhältnisse angepasst ist.

Zersetzer-gesellschaft: Typische von Umweltbedingungen abhängige Artenkombination streuzersetzender Mikroorganismen und Tiere, die aufeinander angewiesen sind und miteinander konkurrieren (Beylich und Graefe, 2012).

7.5 Verzeichnis der Abkürzungen

ALK	Automatisches Liegenschaftskataster
ARG	Argininammonifikation
BDF	Bodendauerbeobachtungsfläche
CFE	Chloroform-Fumigations-Extraktionsmethode
C_{mic}-CFE	Mikrobielle Biomasse bestimmt mit der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode
C_{mic}-SIR	Mikrobielle Biomasse nach der substratinduzierten Respiration, bestimmt mit der Heinemeyer-Anlage
C_{org}	Organischer Kohlenstoffgehalt
C_{org}/N_t	Verhältnis von organischem Kohlenstoff zu Gesamtstickstoff im Boden
D.h.	Das heißt
GVE	Großvieheinheit
LLUR	Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume (Schleswig-Holstein)
N_{mic}-CFE	Mikrobieller Stickstoff bestimmt mit der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode
N_{min}	Gelöster Stickstoff im Boden
N_t	Gesamtstickstoffgehalt
p	Signifikanzniveau der Korrelation
pH	pH-Wert, Maß für die Acidität des Bodens
Q_{met}-CFE	metabolischer Quotient bestimmt nach der Fumigation-Extraktion-Methode
Q_{met}-SIR	metabolischer Quotient nach der substratinduzierten Respiration, bestimmt mit der Heinemeyeranlage
Q_{mic}-CFE	mikrobieller Quotient bestimmt nach der Fumigation-Extraktion-Methode
Q_{mic}-SIR	mikrobieller Quotient nach der substratinduzierten Respiration, bestimmt mit der Heinemeyeranlage
r	Korrelationskoeffizient nach Pearson
R_B-Hein	Basalatmung bestimmt mit der Heinemeyeranlage
SIR	substratinduzierte Respiration
TG	Trockengewicht (mit Bezug auf Boden = Boden bei 105 °C getrocknet)

7.6 Legende zu Kartenausschnitten der Bodenkarte 1 : 25.000

A 1: Legende zu den Bodenformenkarten aus Kapitel 3.

1	Regosol aus Sand	36	typischer Gley aus Sand über Schluff
2	Regosol aus Lehm	37	typischer Gley aus Schluff
3	Podsol-Regosol aus Sand	38	typischer Gley aus Schluff über Lehm
4	Braunerde aus Sand	39	Vega-Gley aus Sand
5	Braunerde aus Sand über Lehm	40	Nassgley aus Schluff über Sand
6	Parabraunerde-Braunerde aus Sand über Lehm	41	Anmoorgley aus Sand
7	Podsol-Braunerde aus Sand	42	Anmoorgley aus Sand über Lehm
8	Pseudogley-Braunerde aus Sand über Lehm	43	Moorgley aus Sand
9	typische Parabraunerde aus Sand über Lehm	44	Moorgley aus Sand über Lehm
10	typische Parabraunerde aus Lehm über Sand	45	Moorgley aus Sand über Schluff
11	Pseudogley-Parabraunerde aus Sand über Lehm	46	Moorgley aus Lehm
12	Pseudogley-Parabraunerde aus Lehm	47	Rohmarsch aus Schluff über Sand
13	Podsol aus Sand	48	typische Kalkmarsch aus Sand
14	Podsol aus Sand über Lehm	49	typische Kalkmarsch aus Schluff
15	Braunerde-Podsol aus Sand	50	typische Kalkmarsch aus Schluff über Sand
16	Braunerde-Podsol aus Sand über Lehm	51	typische Kleimarsch aus Schluff
17	Pseudogley-Podsol aus Sand über Lehm	52	typische Dwogmarsch aus Schluff
18	Gley-Podsol aus Sand	53	typische Dwogmarsch aus Schluff über Ton
19	Gley-Podsol aus Sand über Lehm	54	typische Dwogmarsch aus Schluff über Torf
20	Humus-Podsol aus Sand	55	typische Organomarsch aus Ton
21	Humus-Podsol aus Sand über Lehm	56	typische Organomarsch aus Ton über Sand
22	Pseudogley aus Sand über Lehm	57	typische Organomarsch aus Ton über Schluff
23	Pseudogley aus Lehm	58	Watt aus Sand
24	Pseudogley aus Schluff	59	Watt aus Schluff
25	Braunerde-Pseudogley aus Sand über Lehm	60	Watt aus Schluff über Sand
26	Gley-Pseudogley aus Sand über Lehm	61	Niedermoor aus Torf
27	typischer Kolluvisol aus Sand	62	Niedermoor aus Torf über Sand
28	typischer Kolluvisol aus Lehm	63	Niedermoor aus Torf über Schluff
29	Pseudogley-Kolluvisol aus Sand über Lehm	64	Niedermoor aus Torf über Ton
30	Hortisol aus Sand	65	flache Kleimarsch über Niedermoor/Schluff/Torf
31	Hortisol aus Sand über Lehm	66	typisches Hochmoor aus Torf
32	Rigosol aus unbekanntem Material	67	Böden der Abgrabungen aus Torf
33	Tiefumbruchboden (Trepasol) aus Sand	68	Böden der Abgrabungen
34	typischer Gley aus Sand	69	Böden der Abgrabungen aus unbekannt
35	typischer Gley aus Sand über Lehm		Gewässer

7.7 Klassifikationstabellen

A 2: Klassifizierung des C_{org} -Gehaltes, verändert nach KA5 (Ad Hoc AG-Boden, 2005) und BGR (2007).

Kurzzeichen	Humusgehalt Acker & Grünland Gew. %	C_{org} $cg\ g^{-1}$ TG mit Faktor 1,72 Acker & Grünland bei < 30 % Humus $cg\ g^{-1}$ TG	C_{org} $cg\ g^{-1}$ TG mit Faktor 2,00 Acker & Grünland bei > 30 % Humus $cg\ g^{-1}$ TG	Bezeichnung
h0	0	0	0	humusfrei
h1	< 1	< 0,58	< 0,5	sehr schwach humos
h2	1 bis < 2	0,58 bis < 1,16	0,50 bis < 1	schwach humos
h3	2 bis < 4	1,16 bis < 2,33	1 bis < 2	mittel humos
h4	4 bis < 8	2,33 bis < 4,65	2 bis < 4	stark humos
h5	8 bis < 15	4,65 bis < 8,72	4 bis < 7,5	sehr stark humos
h6	15 bis < 30	8,72 bis < 17,44	7,5 bis < 15	extrem humos, anmoorig
h7	ab 30	ab 17,44	ab 15	organisch

A 3: Klassifizierung des C_{org}/N_t -Gehaltes, verändert nach KA5 (Ad Hoc AG-Boden, 2005).

Humusqualität		
Kurzzeichen	Bezeichnung	C_{org}/N_t - Verhältnis
hq1	sehr gering	≥ 25
hq2	gering	< 25 bis 20
hq3	mittel	< 20 bis 15
hq4	hoch	< 15 bis 10
hq5	sehr hoch	< 10

A 4: Klassifizierung des pH-Werts (gemessen in CaCl₂) nach KA5 (Ad Hoc AG-Boden, 2005).

pH - Wert		
Kurzzeichen	Bezeichnung	pH - Wert - Bereich
a6	extrem alkalisch	≥ 10,7
a5	sehr stark alkalisch	10,0 bis < 10,7
a4	stark alkalisch	9,3 bis < 10,0
a3	mäßig alkalisch	8,6 bis < 9,3
a2	schwach alkalisch	7,9 bis < 8,6
a1	sehr schwach alkalisch	7,2 bis < 7,9
s0	neutral	6,8 bis < 7,2
s1	sehr schwach sauer	6,1 bis < 6,8
s2	schwach sauer	5,4 bis < 6,1
s3	mäßig sauer	4,7 bis < 5,4
s4	stark sauer	4,0 bis < 4,7
s5	sehr stark sauer	3,3 bis < 4,0
s6	extrem sauer	< 3,3

A 5: Einstufung der Trockenrohddichte pt nach KA5 (Ad Hoc AG-Boden, 2005).

Trockenrohddichte		
Kurzzeichen	Bezeichnung	in g / cm ³
pt1	sehr gering	< 1,2
pt2	gering	1,2 bis < 1,4
pt3	mittel	1,4 bis < 1,6
pt4	hoch	1,6 bis < 1,8
pt5	sehr hoch	ab 1,8

A 6: Bewertungsklassen der mikrobiologischen und N_{min}-Parameter für die angegebenen Nutzungsarten.

Parameter	Nutzung und Bodenart	sehr niedrig kleiner als	niedrig größer/gleich	mittel größer/gleich	hoch größer/gleich	sehr hoch größer/gleich	Einheit
C_{mic}-CFE	Grünland S	168	168	267	815	1135	µg/g
C_{mic}-SIR	Grünland S	195	195	354	661	884	µg/g
Q_{mic}-CFE	Grünland S	0,6	0,6	1,5	3,1	4,1	%
Q_{mic}-SIR	Grünland S	0,8	0,8	1,5	2,8	3,7	%
Q_{met}-CFE	Grünland S	0,9	0,9	1,2	2,8	4,3	µg/mg/h
Q_{met}-SIR	Grünland S	1,1	1,1	1,5	2,5	4,4	µg/mg/h
R_B	Grünland S	0,5	0,5	0,6	1,2	1,8	µg/g/h
ARG	Grünland S	1,5	1,5	2,4	4,1	5,9	µg/g/h
N_{mic}-CFE	Grünland S	21	21	39	60	105	µg/g
N_{min}	Grünland S	6	6	15	26	37	µg/g
NH₄-N	Grünland S	3,2	3,2	6,2	14,6	22,2	µg/g
NO₃-N	Grünland S	0,4	0,4	2,4	10,8	14,5	µg/g
C_{mic}-CFE	Grünland Torf	1148	1148	2135	3722	4972	µg/g
C_{mic}-SIR	Grünland Torf	907	907	1310	1869	1968	µg/g
Q_{mic}-CFE	Grünland Torf	0,9	0,9	1,6	2,4	3,7	%
Q_{mic}-SIR	Grünland Torf	0,7	0,7	0,9	1,2	1,7	%
Q_{met}-CFE	Grünland Torf	0,5	0,5	1,1	1,9	2,6	µg/mg/h
Q_{met}-SIR	Grünland Torf	1,4	1,4	1,7	3,5	5,3	µg/mg/h
R_B	Grünland Torf	2,0	2,0	2,9	5,1	8,0	µg/g/h
ARG	Grünland Torf	5,0	5,0	7,9	11,5	24,0	µg/g/h
N_{mic}-CFE	Grünland Torf	143	143	197	377	435	µg/g
N_{min}	Grünland Torf	12	12	31	51	82	µg/g
NH₄-N	Grünland Torf	24	24	27	36	46,1	µg/g
NO₃-N	Grünland Torf	0,9	0,9	2,4	5,8	13,6	µg/g
C_{mic}-CFE	Grünland L, U, T	289	289	688	1345	1877	µg/g
C_{mic}-SIR	Grünland L, U, T	510	510	652	924	1228	µg/g
Q_{mic}-CFE	Grünland L, U, T	0,8	0,8	2,0	3,4	4,4	%
Q_{mic}-SIR	Grünland L, U, T	1,5	1,5	1,8	2,4	3,3	%
Q_{met}-CFE	Grünland L, U, T	0,8	0,8	1,3	2,6	3,9	µg/mg/h
Q_{met}-SIR	Grünland L, U, T	0,8	0,8	1,2	2,8	7,1	µg/mg/h
R_B	Grünland L, U, T	0,7	0,7	1,0	1,8	3,1	µg/g/h
ARG	Grünland L, U, T	3,2	3,2	4,6	6,5	8,4	µg/g/h
N_{mic}-CFE	Grünland L, U, T	50	50	77	124	177	µg/g
N_{min}	Grünland L, U, T	11	11	18	35	51	µg/g
NH₄-N	Grünland L, U, T	1,1	1,1	6,6	10,4	14,5	µg/g
NO₃-N	Grünland L, U, T	1,5	1,5	4,3	10,2	18,0	µg/g
C_{mic}-CFE	Acker S	95	95	130	265	475	µg/g
C_{mic}-SIR	Acker S	137	137	181	282	378	µg/g
Q_{mic}-CFE	Acker S	0,5	0,5	0,7	1,5	2,7	%
Q_{mic}-SIR	Acker S	0,6	0,6	0,9	1,7	2,9	%
Q_{met}-CFE	Acker S	0,7	0,7	1,2	2,8	3,7	µg/mg/h
Q_{met}-SIR	Acker S	1,1	1,1	1,4	2,0	3,1	µg/mg/h
R_B	Acker S	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	µg/g/h
ARG	Acker S	1,1	1,1	1,5	2,4	4,2	µg/g/h
N_{mic}-CFE	Acker S	13	13	18	27	33	µg/g
N_{min}	Acker S	1	1	4	8	22	µg/g
NH₄-N	Acker S	0,4	0,4	0,8	1,9	5,7	µg/g
NO₃-N	Acker S	1,2	1,2	1,7	3,0	6,3	µg/g

Fortsetzung: Tabelle A 6

Parameter	Nutzung und Bodenart	sehr niedrig kleiner als	niedrig größer/gleich	mittel größer/gleich	hoch größer/gleich	sehr hoch größer/gleich	Einheit
C_{mic}-CFE	Wald Auflage	644	644	1057	2609	3851	µg/g
C_{mic}-SIR	Wald Auflage	662	662	957	2093	3281	µg/g
Q_{mic}-CFE	Wald Auflage	0,2	0,2	0,4	0,9	1,4	%
Q_{mic}-SIR	Wald Auflage	0,2	0,2	0,3	0,8	1,4	%
Q_{met}-CFE	Wald Auflage	0,8	0,8	2,1	6,0	12,2	µg/mg/h
Q_{met}-SIR	Wald Auflage	0,9	0,9	2,8	4,3	5,6	µg/mg/h
R_B	Wald Auflage	3,9	3,9	5,3	10,3	21,1	µg/g/h
ARG	Wald Auflage	1,3	1,3	3,9	10,5	14,3	µg/g/h
N_{mic}-CFE	Wald Auflage	86	86	146	326	425	µg/g
N_{min}	Wald Auflage	6	6	20	81	143	µg/g
NH₄-N	Wald Auflage	19	19	21	69	95,0	µg/g
NO₃-N	Wald Auflage	0,2	0,2	1,3	4,7	6,5	µg/g
C_{mic}-CFE	Wald S	44	44	183	538	859	µg/g
C_{mic}-SIR	Wald S	56	56	112	170	239	µg/g
Q_{mic}-CFE	Wald S	0,3	0,3	0,5	1,6	2,7	%
Q_{mic}-SIR	Wald S	0,2	0,2	0,3	0,8	0,9	%
Q_{met}-CFE	Wald S	0,6	0,6	1,4	4,7	11,6	µg/mg/h
Q_{met}-SIR	Wald S	2,5	2,5	3,5	6,6	8,2	µg/mg/h
R_B	Wald S	0,2	0,2	0,3	1,0	1,1	µg/g/h
ARG	Wald S	0,2	0,2	0,3	1,0	3,1	µg/g/h
N_{mic}-CFE	Wald S	5	5	10	37	50	µg/g
N_{min}	Wald S	1	1	2	8	30	µg/g
NH₄-N	Wald S	1,4	1,4	1,8	4,9	7,4	µg/g
NO₃-N	Wald S	0,0	0,0	0,0	0,9	1,6	µg/g
C_{mic}-CFE	Wald L	338	338	493	1008	1741	µg/g
C_{mic}-SIR	Wald L	232	232	277	319	406	µg/g
Q_{mic}-CFE	Wald L	0,6	0,6	0,8	1,8	2,7	%
Q_{mic}-SIR	Wald L	0,4	0,4	0,5	0,6	0,8	%
Q_{met}-CFE	Wald L	1,3	1,3	1,4	2,9	7,0	µg/mg/h
Q_{met}-SIR	Wald L	2,3	2,3	2,7	4,5	14,1	µg/mg/h
R_B	Wald L	1,0	1,0	1,2	2,8	3,4	µg/g/h
ARG	Wald L	2,0	2,0	2,8	3,9	4,6	µg/g/h
N_{mic}-CFE	Wald L	46	46	49	94	110	µg/g
N_{min}	Wald L	3	3	6	17	24	µg/g
NH₄-N	Wald L	15,8	15,8	16,1	16,6	16,9	µg/g
NO₃-N	Wald L	0,5	0,5	0,8	1,3	1,6	µg/g

A 7 Erklärung zu den Zeitreihentabellen

Die dargestellten Tabellen enthalten die bodenmikrobiologischen und bodenchemischen Analyseergebnisse für den untersuchten Mineraloberboden A der jeweiligen BDF über einen Untersuchungszeitraum von i. d. R. 1996 bis 2019.

Aufgeführt sind der mikrobielle Kohlenstoffgehalt, gemessen mit der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($C_{mic-CFE}$) und über die substratinduzierte Atmung (SIR) mit der Heinemeyeranlage ($C_{mic-SIR}$), außerdem der mikrobielle Stickstoffgehalt, gemessen mit der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($N_{mic-CFE}$). Angegeben sind weiterhin die mikrobielle Basalatmung, gemessen als CO_2 -Produktionsrate mithilfe der Heinemeyeranlage (R_{B-Hein}) und die potentielle Ammonifikation nach der Arginin-Ammonifikationsmethode (ARG). Des Weiteren sind der metabolische Quotient und der mikrobielle Quotient jeweils aus den Ergebnissen der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode ($C_{mic-CFE}$) und der Heinemeyeranlage ($C_{mic-SIR}$) berechnet.

Als bodenchemische Parameter sind aufgeführt: der organische Kohlenstoffgehalt (C_{org}) und der Gesamtstickstoffgehalt (N_t) in $cg\ g^{-1} TG$, sowie das dimensionslose Verhältnis von Kohlenstoff zu Stickstoff im Boden (C_{org} / N_t). Der gelöste Stickstoffgehalt (N_{min}) wurde ebenfalls auf die Trockenmasse des Bodens bezogen berechnet. Weiterhin wird die Bodenazidität als pH-Wert dargestellt.

Für eine flächenhafte Darstellung der Parameter $C_{mic-CFE} / \text{Fläche}$, $C_{mic-SIR} / \text{Fläche}$, $N_{mic-CFE} / \text{Fläche}$, $R_{B-Hein} / \text{Fläche}$ und $ARG / \text{Fläche}$ erfolgte eine Umrechnung der massebezogenen Werte mittels der Trockenrohddichte und der Horizonttiefe auf das Flächenmaß m^2 bzw. ha.

Die Anzahl der Parallelen, aus denen die Mittelwerte und Standardabweichungen angegeben wurden, ist den Tabellen in den Beschreibungen vorangestellt.

7.8 Datentabellen

A 8: Physikalische Kennwerte: Trockenrohdichte und Wassergehalt.

BDF	Boden- horizont Tiefe, cm	Bodenart, Torfart, Hu- musform	Wert	Trockenroh- dichte	Wasser- gehalt
				g TG cm ⁻³	mg g ⁻¹ TG
1 List/Sylt Sukzession, ext. beweidet	Ofh +2,6	HMO-MOA	mw std	0,73 n.b.	177,90 57,70
	Aeh -5	mS	mw std	1,44 n.b.	77,57 6,93
	Of&Oh +8,7	MRA-MRR	mw std	0,20 n.b.	1211,11 95,65
2 Süderlügum Nadelwald	Aeh -2,5	mSfs	mw std	1,31 n.b.	77,90 3,19
	Of +17	ROF	mw std	0,18 n.b.	3139,22 625,51
7 Pobüller Bauernholz Buchen-Eichenwald	Oh +11	ROF	mw std	0,26 n.b.	1902,99 504,68
	Aeh -3	SI2-Su2	mw std	1,41 n.b.	350,02 37,08
	Of&Oh +2,4	MUO-MOM	mw std	0,15 n.b.	2518,88 150,00
20 Wüstenfelde Perlgras-Buchenwald	Aeh -2,5	SI4-Ls3	mw std	1,37 n.b.	546,46 108,24
	Ofh&Ah -2,5	Lu	mw std	0,98 n.b.	608,48 31,17
21 Speicherkoog Sukzession	Ah -7,5	Lu	mw std	0,98 n.b.	466,42 17,48
	Ah -10	SI2-Su2	mw std	1,49 n.b.	114,90 2,56
24 Bornhöved Grünl., Wechselwirtschaft	Ah -10	SI2-Su2	mw std	1,49 n.b.	114,90 2,56
25 Landscheide Grünland, ext. beweidet	nHv -10	Hn (T)	mw std	0,48 n.b.	1230,15 143,18
31 Pinneberg Acker, Baumschule	Ah -30	SI2-Su2	mw std	1,40 n.b.	143,44 13,61
32 Hahnheide Drahtschmielen-Buchen- wald	Of&Oh +5,3	MRR-MRA	mw std	0,35 n.b.	985,44 76,81
	Aeh -2,5	SI2	mw std	1,26 n.b.	245,51 12,29
33 Hellbachtal Grünland, ext. beweidet	nHv 10	Hn (SI2)	mw std	0,43 n.b.	1373,16 132,27
37 Hamburger Hallig Sukzession, ext. beweidet	zGo-Ah 10	Tu3	mw std	0,52 n.b.	1388,13 100,49
39 Hevenbruch Perlgras-Buchenwald	Of&Oh +3,8	MOA	mw std	0,23 n.b.	1214,90 210,54
	Aeh -2,6	SI3	mw std	1,17 n.b.	348,81 39,44

A 9: Chemische Kennwerte: pH, C_{org}- und N_t-Gehalte sowie C_{anorg}-Gehalte.

BDF	Boden- horizont Tiefe, cm	Bodenart, Torfart, Hu- musform	Wert	pH	C _{org}	N _t	C _{org} / N _t	C _{anorg}
				CaCl ₂	cg g ⁻¹ TG	cg g ⁻¹ TG		cg g ⁻¹ TG
1 List/Sylt Sukzession, ext. beweidet	Ofh	HMO-MOA	mw	3,67	3,41	0,20	17,09	n.b.
	+2,6		std	0,59	1,10	0,05	2,10	n.b.
	Aeh	mS	mw	3,58	1,27	0,09	13,98	n.b.
2 Süderlügum Nadelwald	-5		std	0,52	0,15	0,01	1,11	n.b.
	Of&Oh	MRA-MRR	mw	2,53	34,78	1,36	25,68	n.b.
	+8,7		std	0,05	3,22	0,13	0,64	n.b.
7 Pobüller Bauernholz Buchen-Eichenwald	Aeh	mSfs	mw	2,84	1,06	0,06	19,16	n.b.
	-2,5		std	0,01	0,11	0,01	0,55	n.b.
	Of	ROF	mw	2,86	48,43	2,32	20,87	n.b.
20 Wüstenfelde Perlgras-Buchenwald	+17		std	0,06	3,04	0,16	0,45	n.b.
	Oh	ROF	mw	2,85	35,16	1,45	24,06	n.b.
	+11		std	0,04	10,67	0,41	0,79	n.b.
21 Speicherkoog Sukzession	Aeh	SI2-Su2	mw	3,09	4,00	0,12	35,34	n.b.
	-3		std	0,04	0,47	0,01	7,09	n.b.
	Of&Oh	MUO-MOM	mw	4,87	35,42	1,68	21,14	n.b.
24 Bornhöved Grünl., Wechselwirtschaft	+2,4		std	0,32	4,34	0,23	0,84	n.b.
	Aeh	SI4-Ls3	mw	4,37	7,06	0,46	15,24	n.b.
	-2,5		std	0,39	1,39	0,07	0,79	n.b.
25 Landscheide Grünland, ext. beweidet	Ofh&Ah	Lu	mw	6,73	4,52	0,41	10,92	0,17
	-2,5		std	0,13	0,07	0,01	0,12	0,04
	Ah	Lu	mw	6,93	3,17	0,32	9,90	0,19
31 Pinneberg Acker, Baumschule	-7,5		std	0,09	0,19	0,02	0,15	0,02
	Ah	SI2-Su2	mw	5,69	1,14	0,10	11,72	n.b.
	-10		std	0,10	0,01	0,00	0,65	n.b.
32 Hahnheide Drahtschmielen-Buchen- wald	nHv	Hn (T)	mw	4,66	20,46	1,51	13,56	n.b.
	-10		std	0,22	2,69	0,17	0,43	n.b.
	Ah	SI2-Su2	mw	4,88	2,11	0,14	15,63	n.b.
33 Hellbachtal Grünland, ext. beweidet	-30		std	0,21	0,24	0,02	0,37	n.b.
	Of&Oh	MRR-MRA	mw	3,00	19,74	1,00	19,60	n.b.
	+5,3		std	0,02	3,44	0,13	0,81	n.b.
37 Hamburger Hallig Sukzession, ext. beweidet	Aeh	SI2	mw	3,08	3,32	0,16	20,72	n.b.
	-2,5		std	0,06	0,44	0,02	0,86	n.b.
	nHv	Hn (SI2)	mw	5,48	12,09	1,07	11,27	n.b.
39 Hevenbruch Perlgras-Buchenwald	10		std	0,09	0,76	0,06	0,27	n.b.
	zGo-Ah	Tu3	mw	7,10	4,98	0,45	11,01	0,10
	10		std	0,12	0,35	0,02	0,25	0,01
39 Hevenbruch Perlgras-Buchenwald	Of&Oh	MOA	mw	3,31	26,11	1,35	19,40	n.b.
	+3,8		std	0,17	2,33	0,11	0,26	n.b.
	Aeh	SI3	mw	3,20	4,88	0,30	16,37	n.b.
39 Hevenbruch Perlgras-Buchenwald	-2,6		std	0,09	0,24	0,02	0,48	n.b.

Fortsetzung: N_{min}-Gehalte.

BDF	Boden- horizont Tiefe, cm	Bodenart, Torfart, Hu- musform	Wert	N _{min}	NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N
				µg g ⁻¹ TG	µg g ⁻¹ TG	µg g ⁻¹ TG	µg g ⁻¹ TG
1 List/Sylt Sukzession, ext. beweidet	Ofh	HMO-MOA	mw	10,93	10,43	0,00	0,50
	+2,6		std	5,30	4,97	0,00	0,33
	Aeh	mS	mw	2,88	2,53	0,00	0,35
	-5		std	1,01	0,85	0,00	0,17
2 Süderlügum Nadelwald	Of&Oh	MRA-MRR	mw	16,16	15,31	0,00	0,85
	+8,7		std	1,75	1,49	0,00	0,27
	Aeh	mSfs	mw	1,00	0,89	0,00	0,11
	-2,5		std	0,08	0,08	0,00	0,01
7 Pobüller Bauernholz Buchen-Eichenwald	Of	ROF	mw	27,98	27,82	0,00	0,16
	+17		std	6,61	6,40	0,00	0,23
	Oh	ROF	mw	8,38	8,34	0,00	0,04
	+11		std	2,56	2,61	0,00	0,07
20 Wüstenfelde Perlgras-Buchenwald	Aeh	SI2-Su2	mw	1,23	1,19	0,00	0,04
	-3		std	0,08	0,09	0,00	0,06
21 Speicherkoog Sukzession	Of&Oh	MUO-MOM	mw	144,11	136,08	0,40	7,63
	+2,4		std	52,43	47,23	0,20	5,51
	Aeh	SI4-Ls3	mw	15,77	12,97	0,00	2,80
	-2,5		std	1,15	0,99	0,00	0,68
24 Bornhöved Grünl., Wechselwirtschaft	Ofh&Ah	Lu	mw	38,89	21,59	3,85	13,45
	-2,5		std	8,01	11,96	0,91	6,77
	Ah	Lu	mw	22,87	12,55	2,76	7,55
	-7,5		std	5,88	7,31	0,86	4,09
25 Landscheide Grünland, ext. beweidet	Ah	SI2-Su2	mw	5,06	4,43	0,00	0,63
	-10		std	0,32	0,35	0,00	0,04
31 Pinneberg Acker, Baumschule	nHv	Hn (T)	mw	32,08	21,58	0,29	10,20
	-10		std	5,42	4,51	0,41	3,62
32 Hahnheide Drahtschmielen-Buchen- wald	Ah	SI2-Su2	mw	2,96	1,20	0,00	1,76
	-30		std	0,50	0,38	0,00	0,25
	Of&Oh	MRR-MRA	mw	22,30	18,53	0,00	3,76
	+5,3		std	1,82	3,50	0,00	1,93
33 Hellbachtal Grünland, ext. beweidet	Aeh	SI2	mw	3,11	1,91	0,00	1,21
	-2,5		std	0,56	0,52	0,00	0,30
37 Hamburger Hallig Sukzession, ext. beweidet	nHv	Hn (SI2)	mw	41,80	41,51	0,00	0,29
	10		std	10,08	10,21	0,00	0,26
39 Hevenbruch Perlgras-Buchenwald	zGo-Ah	Tu3	mw	18,85	18,48	0,00	0,37
	10		std	1,32	1,41	0,00	0,10
	Of&Oh	MOA	mw	37,05	33,89	0,00	3,16
	+3,8		std	5,77	5,32	0,00	1,79
39 Hevenbruch Perlgras-Buchenwald	Aeh	SI3	mw	4,71	3,97	0,00	0,74
	-2,6		std	0,98	0,85	0,00	0,43

Fortsetzung: Flächenbezogene Werte.

BDF	Boden- horizont Tiefe, cm	Bodenart, Torfart, Hu- musform	Wert	C _{org} / Fläche	N _t / Fläche	N _{min} / Flä- che	N _{min} / Flä- che
				g m ⁻² Horizont- tiefe	g m ⁻² Horizont- tiefe	g m ⁻² Horizont- tiefe	kg N ha ⁻¹ Ho- rizonttiefe
1 List/Sylt Sukzession, ext. beweidet	Ofh	HMO-MOA	mw	651,96	38,04	0,21	2,09
	+2,6		std	211,46	9,98	0,10	1,01
	Aeh	mS	mw	917,10	65,70	0,21	2,08
	-5		std	110,00	6,43	0,07	0,73
2 Süderlügum Nadelwald	Of&Oh	MRA-MRR	mw	6080,20	236,85	0,28	2,82
	+8,7		std	563,17	22,08	0,03	0,31
	Aeh	mSfs	mw	349,39	18,21	0,03	0,33
	-2,5		std	36,75	1,66	0,00	0,03
7 Pobüller Bauernholz Buchen-Eichenwald	Of	ROF	mw	5034,66	241,43	0,29	2,91
	+17		std	315,71	16,48	0,07	0,69
	Oh	ROF	mw	10047,09	414,74	0,24	2,40
	+11		std	3050,22	118,04	0,07	0,73
20 Wüstenfelde Perlgras-Buchenwald	Aeh	SI2-Su2	mw	1686,67	48,51	0,05	0,52
	-3		std	199,58	3,95	0,00	0,03
21 Speicherkoog Sukzession	Of&Oh	MUO-MOM	mw	1281,17	60,78	0,52	5,21
	+2,4		std	157,09	8,42	0,19	1,90
	Aeh	SI4-Ls3	mw	2451,36	160,59	0,55	5,47
	-2,5		std	483,21	25,32	0,04	0,40
24 Bornhöved Grünl., Wechselwirtschaft	Ofh&Ah	Lu	mw	1106,79	101,37	0,95	9,53
	-2,5		std	17,20	1,33	0,20	1,96
	Ah	Lu	mw	2329,95	235,20	1,68	16,81
	-7,5		std	142,57	11,62	0,43	4,32
25 Landscheide Grünland, ext. beweidet	Ah	SI2-Su2	mw	1697,46	145,18	0,75	7,53
	-10		std	18,98	6,45	0,05	0,48
31 Pinneberg Acker, Baumschule	nHv	Hn (T)	mw	9800,94	720,90	1,54	15,37
	-10		std	1287,44	79,13	0,26	2,59
32 Hahnheide Drahtschmielen-Buchen- wald	Ah	SI2-Su2	mw	8862,00	567,00	1,24	12,43
	-30		std	996,89	63,00	0,21	2,10
	Of&Oh	MRR-MRA	mw	3619,55	183,85	0,41	4,09
	+5,3		std	630,97	24,69	0,03	0,33
33 Hellbachtal Grünland, ext. beweidet	Aeh	SI2	mw	1038,35	50,08	0,10	0,97
	-2,5		std	137,76	5,86	0,02	0,18
37 Hamburger Hallig Sukzession, ext. beweidet	nHv	Hn (SI2)	mw	5174,52	459,03	1,79	17,89
	10		std	325,11	26,79	0,43	4,31
39 Hevenbruch Perlgras-Buchenwald	zGo-Ah	Tu3	mw	2601,93	236,00	0,99	9,86
	10		std	182,64	11,30	0,07	0,69
	Of&Oh	MOA	mw	2203,03	113,48	0,31	3,13
	+3,8		std	196,79	8,87	0,05	0,49
39 Hevenbruch Perlgras-Buchenwald	Aeh	SI3	mw	1454,20	88,98	0,14	1,40
	-2,6		std	70,96	6,17	0,03	0,29

Fortsetzung: Flächenbezogene Werte.

BDF	Boden- horizont	Bodenart, Torfart, Hu- musform	Wert	NH ₄ ⁺ -N/Flä- che	NO ₂ ⁻ -N/Flä- che	NO ₃ ⁻ -N/Flä- che
	Tiefe, cm			g m ⁻² Horizont- tiefe	g m ⁻² Horizont- tiefe	g m ⁻² Horizont- tiefe
1 List/Sylt Sukzession, ext. beweidet	Ofh	HMO-MOA	mw	0,20	0,00	0,01
	+2,6		std	0,10	0,00	0,01
	Aeh	mS	mw	0,18	0,00	0,03
	-5		std	0,06	0,00	0,01
2 Süderlügum Nadelwald	Of&Oh	MRA-MRR	mw	0,27	0,00	0,01
	+8,7		std	0,03	0,00	0,00
	Aeh	mSfs	mw	0,03	0,00	0,00
	-2,5		std	0,00	0,00	0,00
7 Pobüller Bauernholz Buchen-Eichenwald	Of	ROF	mw	0,29	0,00	0,00
	+17		std	0,07	0,00	0,00
	Oh	ROF	mw	0,24	0,00	0,00
	+11		std	0,07	0,00	0,00
	Aeh	SI2-Su2	mw	0,05	0,00	0,00
	-3		std	0,00	0,00	0,00
20 Wüstenfelde Perlgras-Buchenwald	Of&Oh	MUO-MOM	mw	0,49	0,00	0,03
	+2,4		std	0,17	0,00	0,02
	Aeh	SI4-Ls3	mw	0,45	0,00	0,10
	-2,5		std	0,03	0,00	0,02
21 Speicherkoog Sukzession	Ofh&Ah	Lu	mw	0,53	0,09	0,33
	-2,5		std	0,29	0,02	0,17
	Ah	Lu	mw	0,92	0,20	0,56
	-7,5		std	0,54	0,06	0,30
24 Bornhöved Grünl., Wechselwirtschaft	Ah	SI2-Su2	mw	0,66	0,00	0,09
	-10		std	0,05	0,00	0,01
25 Landscheide Grünland, ext. beweidet	nHv	Hn (T)	mw	1,03	0,01	0,49
	-10		std	0,22	0,02	0,17
31 Pinneberg Acker, Baumschule	Ah	SI2-Su2	mw	0,50	0,00	0,74
	-30		std	0,16	0,00	0,11
32 Hahnheide Drahtschmielen-Buchen- wald	Of&Oh	MRR-MRA	mw	0,34	0,00	0,07
	+5,3		std	0,06	0,00	0,04
	Aeh	SI2	mw	0,06	0,00	0,04
	-2,5		std	0,02	0,00	0,01
33 Hellbachtal Grünland, ext. beweidet	nHv	Hn (SI2)	mw	1,78	0,00	0,01
	10		std	0,44	0,00	0,01
37 Hamburger Hallig Sukzession, ext. beweidet	zGo-Ah	Tu3	mw	0,97	0,00	0,02
	10		std	0,07	0,00	0,01
39 Hevenbruch Perlgras-Buchenwald	Of&Oh	MOA	mw	0,29	0,00	0,03
	+3,8		std	0,04	0,00	0,02
	Aeh	SI3	mw	0,12	0,00	0,02
	-2,6		std	0,03	0,00	0,01

A 10: Bodenmikrobiologische Kennwerte: C_{mic} , N_{mic} und Basalatmung.

BDF	Boden- horizont Tiefe, cm	Bodenart, Torfart, Hu- musform	Wert	C_{mic} -CFE	C_{mic} -SIR-Hein	N_{mic} -CFE	R_B -Hein
				$\mu g\ g^{-1} TG$	$\mu g\ g^{-1} TG$	$\mu g\ g^{-1} TG$	$\mu g\ CO_2-C\ g^{-1} TG\ h^{-1}$
1 List/Sylt Sukzession, ext. beweidet	Ofh	HMO-MOA	mw	1396,08	n.b.	75,79	1,41
	+2,6		std	521,38	n.b.	13,95	0,15
	Aeh	mS	mw	585,36	n.b.	25,57	0,41
2 Süderlügum Nadelwald	-5		std	34,38	n.b.	2,29	0,03
	Of&Oh	MRA-MRR	mw	9395,26	n.b.	104,76	5,22
	+8,7		std	933,13	n.b.	26,95	0,58
7 Pobüller Bauernholz Buchen-Eichenwald	Aeh	mSfs	mw	438,28	n.b.	< 5,00	0,38
	-2,5		std	33,02	n.b.	n.b.	0,03
	Of	ROF	mw	12965,13	n.b.	279,02	10,09
20 Wüstenfelde Perlgras-Buchenwald	+17		std	679,75	n.b.	34,45	1,35
	Oh	ROF	mw	6338,55	n.b.	124,94	2,97
	+11		std	1732,85	n.b.	34,06	0,38
21 Speicherkoog Sukzession	Aeh	SI2-Su2	mw	890,90	n.b.	6,12	0,53
	-3		std	32,05	n.b.	2,87	0,28
	Of&Oh	MUO-MOM	mw	11972,33	n.b.	778,01	27,12
24 Bornhöved Grünl., Wechselwirtschaft	+2,4		std	278,81	n.b.	262,49	5,21
	Aeh	SI4-Ls3	mw	1768,50	n.b.	119,96	1,62
	-2,5		std	200,82	n.b.	13,06	0,29
25 Landscheide Grünland, ext. beweidet	Ofh&Ah	Lu	mw	1631,83	928,28	162,40	2,44
	-2,5		std	70,02	79,01	10,67	0,54
	Ah	Lu	mw	1324,67	1018,37	131,07	1,64
31 Pinneberg Acker, Baumschule	-7,5		std	118,49	115,40	12,41	0,35
	Ah	SI2-Su2	mw	445,39	262,43	29,29	0,46
	-10		std	26,48	10,00	1,60	0,03
32 Hahnheide Drahtschmielen-Buchen- wald	nHv	Hn (T)	mw	6322,21	2134,87	417,68	3,45
	-10		std	301,77	252,14	24,20	0,39
	Ah	SI2-Su2	mw	413,20	123,35	< 5,00	0,36
33 Hellbachtal Grünland, ext. beweidet	-30		std	45,10	17,40	n.b.	0,03
	Of&Oh	MRR-MRA	mw	4511,94	n.b.	168,80	2,15
	+5,3		std	293,42	n.b.	19,71	0,30
37 Hamburger Hallig Sukzession, ext. beweidet	Aeh	SI2	mw	798,34	n.b.	24,76	0,41
	-2,5		std	77,93	n.b.	2,67	0,04
	nHv	Hn (SI2)	mw	6297,87	828,42	486,34	3,84
39 Hevenbruch Perlgras-Buchenwald	10		std	628,99	282,96	49,12	0,21
	zGo-Ah	Tu3	mw	2388,40	1295,85	289,60	7,72
	10		std	256,44	100,09	39,54	1,09
39 Hevenbruch Perlgras-Buchenwald	Of&Oh	MOA	mw	4816,39	n.b.	217,45	5,20
	+3,8		std	764,76	n.b.	45,69	1,12
	Aeh	SI3	mw	1054,38	n.b.	37,54	0,63
	-2,6		std	105,42	n.b.	7,35	0,14

Fortsetzung: Ammonifikationsraten und mikrobielle Quotienten.

BDF	Boden- horizont Tiefe, cm	Bodenart, Torfart, Hu- musform	Wert	ARG	$\frac{Q_{mic-CFE}}{C_{mic-CFE} / C_{org}}$	$\frac{Q_{mic-SIR-Hein}}{C_{mic-SIR-Hein} / C_{org}}$	$\frac{C_{mic-CFE}}{\text{Fläche}}$
				$\mu\text{g NH}_4^+-\text{N}$ $\text{g}^{-1} \text{ TG h}^{-1}$	%	%	$\text{g m}^{-2} \text{ Horizont-}$ tiefe
1 List/Sylt Sukzession, ext. beweidet	Ofh	HMO-MOA	mw	1,10	4,12	n.b.	26,72
	+2,6		std	0,85	0,85	n.b.	9,98
	Aeh	mS	mw	1,00	4,66	n.b.	42,15
	-5		std	0,19	0,55	n.b.	2,48
2 Süderlügum Nadelwald	Of&Oh	MRA-MRR	mw	< 0,10	2,71	n.b.	164,23
	+8,7		std	n.b.	0,22	n.b.	16,31
	Aeh	mSfs	mw	0,38	4,17	n.b.	14,51
	-2,5		std	0,13	0,22	n.b.	1,09
7 Pobüller Bauernholz Buchen-Eichenwald	Of	ROF	mw	7,24	2,68	n.b.	134,78
	+17		std	4,65	0,14	n.b.	7,07
	Oh	ROF	mw	7,58	2,01	n.b.	181,15
	+11		std	1,27	0,71	n.b.	49,52
20 Wüstenfelde Perlgras-Buchenwald	Aeh	SI2-Su2	mw	0,38	2,27	n.b.	37,58
	-3		std	0,27	0,29	n.b.	1,35
21 Speicherkoog Sukzession	Of&Oh	MUO-MOM	mw	37,32	3,44	n.b.	43,31
	+2,4		std	6,88	0,41	n.b.	1,01
	Aeh	SI4-Ls3	mw	1,28	2,56	n.b.	61,41
	-2,5		std	0,45	0,30	n.b.	6,97
24 Bornhöved Grünl., Wechselwirtschaft	Ofh&Ah	Lu	mw	5,41	3,61	2,05	39,98
	-2,5		std	1,10	0,12	0,16	1,72
	Ah	Lu	mw	4,19	4,17	3,20	97,36
	-7,5		std	0,38	0,23	0,22	8,71
25 Landscheide Grünland, ext. beweidet	Ah	SI2-Su2	mw	1,27	3,91	2,30	66,32
	-10		std	0,28	0,25	0,10	3,94
31 Pinneberg Acker, Baumschule	nHv	Hn (T)	mw	9,36	3,14	1,07	302,83
	-10		std	1,32	0,33	0,20	14,45
32 Hahnheide Drahtschmielen-Buchen- wald	Ah	SI2-Su2	mw	0,97	1,96	0,58	173,54
	-30		std	0,25	0,04	0,05	18,94
33 Hellbachtal Grünland, ext. beweidet	Of&Oh	MRR-MRA	mw	27,48	2,32	n.b.	82,75
	+5,3		std	2,71	0,18	n.b.	5,38
	Aeh	SI2	mw	1,87	2,43	n.b.	24,99
	-2,5		std	0,10	0,26	n.b.	2,44
37 Hamburger Hallig Sukzession, ext. beweidet	nHv	Hn (SI2)	mw	7,63	5,22	0,69	269,55
	10		std	1,51	0,50	0,23	26,92
39 Hevenbruch Perlgras-Buchenwald	zGo-Ah	Tu3	mw	11,52	4,86	2,61	124,91
	10		std	2,81	0,79	0,24	13,41
	Of&Oh	MOA	mw	29,05	1,85	n.b.	40,64
	+3,8		std	7,81	0,27	n.b.	6,45
	Aeh	SI3	mw	0,82	2,16	n.b.	31,40
	-2,6		std	0,45	0,15	n.b.	3,14

Fortsetzung: Flächenbezogene Werte.

BDF	Boden- horizont Tiefe, cm	Bodenart, Torfart, Hu- musform	Wert	C _{mic-SIR-Hein} / Fläche	N _{mic-CFE} / Fläche	R _{B-Hein} / Flä- che	ARG / Flä- che
				g m ⁻² Horizont- tiefe	g m ⁻² Horizont- tiefe	mg CO ₂ -C m ⁻² h ⁻¹ Hori- zonttiefe	mg NH ₄ ⁺ -N m ⁻² h ⁻¹ Hori- zonttiefe
1 List/Sylt Sukzession, ext. beweidet	Ofh +2,6	HMO-MOA	mw std	n.b. n.b.	1,45 0,27	26,94 2,95	21,02 16,36
	Aeh -5	mS	mw std	n.b. n.b.	1,84 0,16	29,64 2,46	72,01 13,83
	Of&Oh +8,7	MRA-MRR	mw std	n.b. n.b.	1,83 0,47	91,30 10,06	< 1,75 n.b.
2 Süderlügum Nadelwald	Aeh -2,5	mSfs	mw std	n.b. n.b.	< 0,17 n.b.	12,48 1,09	12,73 4,36
	Of +17	ROF	mw std	n.b. n.b.	2,90 0,36	104,93 14,00	75,24 48,29
	Oh +11	ROF	mw std	n.b. n.b.	3,57 0,97	84,86 10,90	216,67 36,39
7 Pobüller Bauernholz Buchen-Eichenwald	Aeh -3	SI2-Su2	mw std	n.b. n.b.	0,26 0,12	22,54 11,69	4,40 11,20
	Of&Oh +2,4	MUO-MOM	mw std	n.b. n.b.	2,81 0,95	98,10 18,86	135,01 24,88
	Aeh -2,5	SI4-Ls3	mw std	n.b. n.b.	4,17 0,45	56,24 10,08	44,47 15,56
20 Wüstenfelde Perlgras-Buchenwald	Ofh&Ah -2,5	Lu	mw std	22,74 1,94	3,98 0,26	59,72 13,34	132,53 26,97
	Ah -7,5	Lu	mw std	74,85 8,48	9,63 0,91	120,47 25,91	308,27 28,13
	Ah -10	SI2-Su2	mw std	39,08 1,49	4,36 0,24	69,08 4,45	188,77 41,41
24 Bornhöved Grünl., Wechselwirtschaft	nHv -10	Hn (T)	mw std	102,26 12,08	20,01 1,16	165,39 18,75	448,55 63,34
	Ah -30	SI2-Su2	mw std	51,81 7,31	< 2,10 n.b.	149,74 11,38	409,19 105,51
31 Pinneberg Acker, Baumschule	Of&Oh +5,3	MRR-MRA	mw std	n.b. n.b.	3,10 0,36	39,37 5,45	503,91 49,71
	Aeh -2,5	SI2	mw std	n.b. n.b.	0,77 0,08	12,75 1,24	58,39 3,25
	nHv 10	Hn (SI2)	mw std	35,46 12,11	20,82 2,10	164,33 9,03	326,57 64,82
33 Hellbachtal Grünland, ext. beweidet	zGo-Ah 10	Tu3	mw std	67,77 5,23	15,15 2,07	403,67 56,82	602,61 146,80
	Of&Oh +3,8	MOA	mw std	n.b. n.b.	1,83 0,39	43,84 9,42	245,10 65,93
37 Hamburger Hallig Sukzession, ext. beweidet	Aeh -2,6	SI3	mw std	n.b. n.b.	1,12 0,22	18,64 4,04	24,39 13,29

Fortsetzung: Metabolische Quotienten und Sapromatwerte.

BDF	Boden- horizont Tiefe, cm	Bodenart, Torfart, Hu- musform	Wert	$Q_{\text{met-CFE}}$	$Q_{\text{met-SIR-Hein}}$	$C_{\text{mic-SIR-SapO2}}$	$C_{\text{mic-SIR-SapCO2}}$
				$R_{\text{B-Hein}} / C_{\text{mic-CFE}}$	$R_{\text{B-Hein}} / C_{\text{mic-SIR-Hein}}$		
				$\mu\text{g CO}_2\text{-C}$ $\text{mg}^{-1} C_{\text{mic-CFE}}$ h^{-1}	$\mu\text{g CO}_2\text{-C}$ $\text{mg}^{-1} C_{\text{mic-SIR}}$ h^{-1}	$\mu\text{g g}^{-1} \text{TG}$	$\mu\text{g g}^{-1} \text{TG}$
1 List/Sylt Sukzession, ext. beweidet	Ofh +2,6	HMO-MOA	mw std	1,11 0,25	n.b. n.b.	n.b. n.b.	n.b. n.b.
	Aeh -5	mS	mw std	0,70 0,04	n.b. n.b.	n.b. n.b.	n.b. n.b.
2 Süderlügum Nadelwald	Of&Oh +8,7	MRA-MRR	mw std	0,56 0,01	n.b. n.b.	n.b. n.b.	n.b. n.b.
	Aeh -2,5	mSfs	mw std	0,86 0,04	n.b. n.b.	n.b. n.b.	n.b. n.b.
7 Pobüller Bauernholz Buchen-Eichenwald	Of +17	ROF	mw std	0,78 0,09	n.b. n.b.	n.b. n.b.	n.b. n.b.
	Oh +11	ROF	mw std	0,50 0,13	n.b. n.b.	n.b. n.b.	n.b. n.b.
	Aeh -3	SI2-Su2	mw std	0,59 0,29	n.b. n.b.	n.b. n.b.	n.b. n.b.
20 Wüstenfelde Perlgras-Buchenwald	Of&Oh +2,4	MUO-MOM	mw std	2,26 0,41	n.b. n.b.	n.b. n.b.	n.b. n.b.
	Aeh -2,5	SI4-Ls3	mw std	0,91 0,07	n.b. n.b.	n.b. n.b.	n.b. n.b.
21 Speicherkooog Sukzession	Ofh&Ah -2,5	Lu	mw std	1,48 0,29	2,67 0,64	563,52 23,70	1793,90 143,69
	Ah -7,5	Lu	mw std	1,23 0,23	1,59 0,18	381,85 48,85	1348,97 207,57
24 Bornhöved Grünl., Wechselwirtschaft	Ah -10	SI2-Su2	mw std	1,05 0,12	1,77 0,12	64,19 18,89	358,69 28,04
25 Landscheide Grünland, ext. beweidet	nHv -10	Hn (T)	mw std	0,55 0,07	1,63 0,17	819,16 53,55	2451,67 278,76
31 Pinneberg Acker, Baumschule	Ah -30	SI2-Su2	mw std	0,87 0,04	2,93 0,23	38,53 7,01	189,93 49,67
32 Hahnheide Drahtschmielen-Buchen- wald	Of&Oh +5,3	MRR-MRA	mw std	0,48 0,07	n.b. n.b.	n.b. n.b.	n.b. n.b.
	Aeh -2,5	SI2	mw std	0,51 0,03	n.b. n.b.	n.b. n.b.	n.b. n.b.
33 Hellbachtal Grünland, ext. beweidet	nHv 10	Hn (SI2)	mw std	0,61 0,03	5,44 2,00	762,96 126,65	1681,43 221,71
37 Hamburger Hallig Sukzession, ext. beweidet	zGo-Ah 10	Tu3	mw std	3,25 0,45	6,03 1,08	762,77 242,29	3220,56 376,51
39 Hevenbruch Perlgras-Buchenwald	Of&Oh +3,8	MOA	mw std	1,07 0,08	n.b. n.b.	n.b. n.b.	n.b. n.b.
	Aeh -2,6	SI3	mw std	0,59 0,07	n.b. n.b.	n.b. n.b.	n.b. n.b.